

Aus dem Institut für Tierzucht  
(Lehrstuhl für Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre:  
Univ.-Prof. Dr. Dr. Martin Förster)  
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München

Angefertigt unter der Leitung von:  
PD Dr. Armin Scholz  
am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim

**Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum  
von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft  
mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von  
Julia Hampe  
aus  
München

München 2005

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. A. Stolle
Referent:	Priv.-Doz. Dr. A. Scholz
Korreferentin:	Univ.-Prof. Dr. E. Kienzle

Tag der Promotion: 15. Juli 2005

*Meinen Eltern und*

*meinem Bruder*

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	Seite 1
2. Literatur	Seite 3
2.1. Körperzusammensetzung	Seite 3
2.1.1. Verschiedene Modelle zur Körperzusammensetzung	Seite 3
2.1.2. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung	Seite 5
2.1.2.1. Direkte Methoden	Seite 5
2.1.2.2. Indirekte Methoden	Seite 6
2.2. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)	Seite 11
2.2.1. Funktionsweise	Seite 11
2.2.2. DXA beim Menschen	Seite 13
2.2.3. DXA beim Kleintier	Seite 13
2.2.4. DXA beim Nutztier	Seite 15
3. Publikation	Seite 18
4. Diskussion	Seite 49
4.1. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Kälbern	Seite 49
4.2. Körperzusammensetzung von reinrassigen Kälbern	Seite 50
4.3. Körperzusammensetzung von Kreuzungskälbern	Seite 53
4.4. Wachstum von Kälbern	Seite 54
4.5. Anwendung verschiedener Scan-Modi	Seite 57
5. Zusammenfassung	Seite 59
6. Summary	Seite 60
7. Literaturverzeichnis	Seite 61

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AP	Alkalische Phosphatase
BIA	Bioelektrische Impedanz-Analyse
BMC	Bone Mineral Content (Knochenmineralgehalt)
BMD	Bone Mineral Density (Knochenmineraldichte)
BMPC	Bone Mineral Percentage (Knochenmineralanteil)
Ca	Kalzium
CT	Computertomografie
DXWT	DXA-Weight (DXA-Gewicht)
Fa.	Firma
FettPC	Fett Percentage (Fettgewebeanteil)
FV	Deutsches Fleckvieh
FV x DH	Deutsches Fleckvieh x Deutsche Holsteins
FV x KR	Deutsches Fleckvieh x Kreuzung
DH	Deutsche Holsteins
DH x FV	Deutsche Holsteins x Deutsches Fleckvieh
DH x KR	Deutsche Holsteins x Kreuzung
DXA	Dual energy X-ray Absorptiometry (Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie)
KeV	kiloelektronen Volt
KR	Kreuzung
LSM	Least Square Mean
MagerPC	Mager Percentage (Magergewebeanteil)
MRI (MRT)	Magnetic Resonance Imaging (Magnet-Resonanz-Tomografie)
o.g.	oben genannt
P	Phosphat
R	Korrelation
ROI	Region of Interest
SEE	Standard Error of Estimation

Tab.

Tabelle

IU

International Units (Internationale Einheiten)

vs.

versus

Der Tierversuch wurde unter folgender Registrierungsnummer bei der Regierung von Oberbayern angezeigt: 209.1/211-2531.2-16/2003.

## 1. Einleitung

Die technischen Möglichkeiten, den menschlichen Körper oder einzelne Körperteile zu untersuchen, sind in den vergangenen zwei Jahrzehnten um mehrere bildgebende Verfahren erweitert worden (Ultraschall, CT, MRT, DXA). Für die Entwicklung dieser Geräte waren immer wieder Tierversuche notwendig, um die Risiken dieser Untersuchungstechniken, beispielsweise der Strahlenbelastung zu erforschen und einschätzen zu können. Auf Grund der hohen Anschaffungskosten und der hohen Ansprüche an das bedienende Personal standen diese Methoden anfangs nur wenigen Einrichtungen in der Humanmedizin zur Verfügung, haben sich dort aber mittlerweile in der Routinediagnostik etabliert. Die Kenntnis über die Funktionsweise dieser Geräte gehört inzwischen zur Ausbildung eines jeden Mediziners.

Auch im Bereich der Veterinärmedizin sind die neuen diagnostischen Möglichkeiten auf dem Vormarsch und kommen immer häufiger zum Einsatz. Das Ultraschallgerät ist in allen Bereichen der klinischen Tiermedizin ein kaum mehr wegzudenkendes Hilfsmittel der Diagnostik. CT und MRT sind momentan vor allem im Kleintiersektor zu finden, wobei sie nach und nach auch in der Pferdemedizin an Bedeutung gewinnen.

Dualenergie - Röntgenabsorptiometrie wird in der Tiermedizin weniger zu diagnostischen Zwecken eingesetzt, sondern sie bietet eine sehr gute Möglichkeit, sich über die Knochenmineralisierung und Körperzusammensetzung verschiedenster Tiere ein Bild zu machen. Da dieses Verfahren bei lebenden Tieren anwendbar ist und Untersuchungen auch öfter wiederholt werden können, stellt es eine Methode dar, in Langzeitstudien auch das Wachstum von Tieren zu erforschen. Zur genauen Untersuchung des Verlaufs der Entwicklung mussten bisher vergleichbare Tiergruppen herangezogen werden, bei der DXA-Untersuchung kann dies bei ein und demselben Tier beobachtet werden.

Da am Lehr- und Versuchsgut parallel ein Kreuzungsversuch zwischen den Rassen Deutsche Holstein und Deutsches Fleckvieh läuft, standen für die Untersuchungen Kälber verschiedener Genotypen zur Verfügung und es konnten somit auch Einflüsse und Unterschiede von bzw. zwischen den verschiedenen Genotypen bezüglich ihrer Wachstumseigenschaften und der Körperzusammensetzung in die Forschungsarbeit mit einbezogen werden.



Diese Studie ist Teil einer Forschungsreihe, in der zum einen die Entwicklung der Klauen bei neugeborenen Kälbern (Nüske et al. 2002, Nüske et al. 2004) analysiert wurde und zum anderen in einer noch andauernden Studie Referenzuntersuchungen (Totalzerlegung) zur Genauigkeit von DXA-Untersuchungen bei neugeborenen Kälbern durchgeführt werden (Musick, persönliche Mitteilung).

## 2. Literatur

### 2.1. Körperzusammensetzung

#### 2.1.1. Verschiedene Modelle zur Körperzusammensetzung

Die Zusammensetzung des Körpers kann auf unterschiedliche Weise definiert werden. Anhand des menschlichen Körpers zeigen Heymsfield et al. (1997) fünf Möglichkeiten auf, die Körperzusammensetzung aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten. Zuerst ist die atomare Ebene zu nennen. Atome bilden die elementare Grundlage aller biologischen Organismen. Die Grundbausteine Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff bilden zusammen mit Natrium, Kalium, Phosphor, Chlor, Kalzium, Magnesium und Schwefel über 99,5% der Körpermasse.

Auf der molekularen Ebene wird der Körper in fünf Hauptgruppen unterteilt: Fette, Wasser, Proteine, Kohlehydrate und Mineralstoffe. Durch Kombination einzelner Komponenten entsteht die Möglichkeit, Modelle der Körperzusammensetzung zu entwickeln. Im Zwei-Komponenten-Modell lässt sich das Körpergewicht als Summe aus Fett und fettfreier Körpermasse definieren. Die Addition von Fett, Wasser und Restmasse bzw. von Fett, Knochenmineral und Magerweichgewebe ergeben das Körpergewicht im Drei-Komponenten-Modell.

Darüber hinaus geht das Vier-Komponenten-Modell: Körpergewicht = Fett + Wasser + Mineralstoffe + Restmasse (Restmasse = Summe von Glycogen und Protein).

Pietrobelli et al. (1996) geben eine schematische Darstellung des Körper-Modells für die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (Abb. 1).

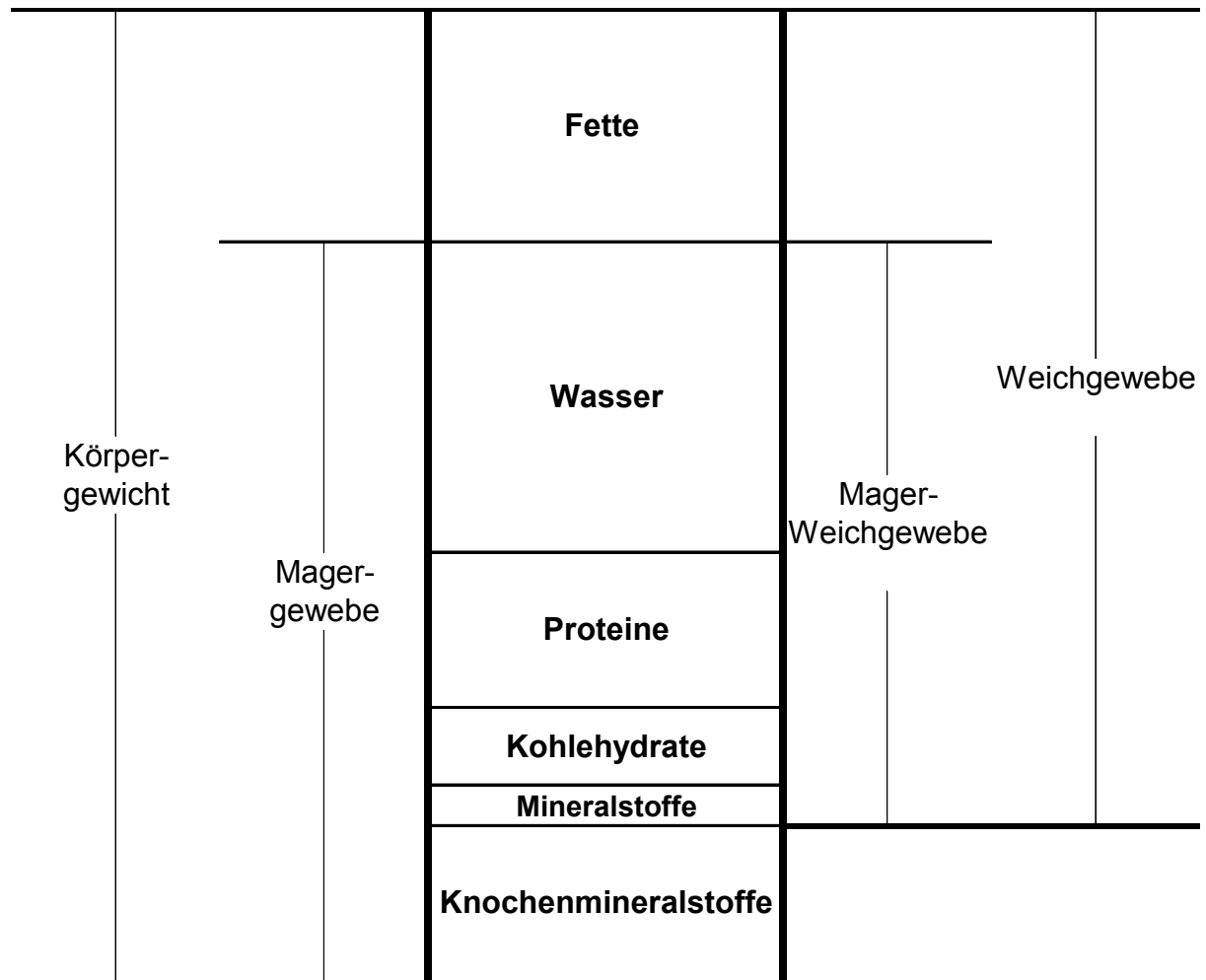


Abb. 1: Modell der Körperzusammensetzung nach Pietrobelli (1996); (aus Soffner, 2003)

Heymsfield et al. (1997) gehen weiter auf die Körperzusammensetzung auf zellulärer Ebene ein. Hier spielen drei Anteile eine Rolle: Zellmasse, extrazelluläre Flüssigkeit und extrazelluläre Feststoffe wie z.B. Knochenmineralstoffe, Kollagen, Retikulin- und elastische Fasern. Heutzutage kommt auf der zellulären Ebene meist folgendes Modell zur Anwendung: Körpergewicht = Fett + Zellmasse + extrazelluläre Flüssigkeit + extrazelluläre Feststoffe.

Auf der Ebene der Gewebesysteme liegen folgende Bausteine zugrunde: Fettgewebe, Muskulatur, Knochen, innere Organe und Gehirn. Das Fettgewebe lässt sich unterteilen in subkutanes und viscerales Fett, Fett des gelben Knochenmarks und interstitielles Fett.

Eine grobe Unterteilung des Körpers kann auch auf anatomischer Ebene durchgeführt werden. Hier wird der menschliche Körper in Kopf, Hals, Rumpf, obere und untere Extremitäten eingeteilt.

Um die Körperzusammensetzung beim Menschen zu erforschen, diente das Schwein oftmals als Tiermodell. Das begründet die Annahme, dass alle genannten Betrachtungsweisen auch auf Tiere und somit auch auf Kälber anwendbar sind.

## 2.1.2. Methoden zur Ermittlung der Körperzusammensetzung

Prinzipiell lassen sich die Methoden laut Deurenberg und Schutz (1995) in zwei Komplexe einteilen: die direkten und die indirekten Methoden. Der Unterschied der Verfahren besteht darin, dass bei der direkten Methode Teile des Körpers homogenisiert und dann chemisch analysiert werden, während die indirekten Methoden eine Ganzkörperanalyse erlauben.

### 2.1.2.1. Direkte Methoden

Ellis (2002) beschreibt die chemische Analyse, die von Beginn bis Mitte des 20. Jahrhunderts bei menschlichen Leichen jeden Alters zur Ermittlung der Körperzusammensetzung eingesetzt wurde. Außerdem fand diese Methode Anwendung in der Untersuchung von Gewebebiopsien und war hier dienlich, metabolische und physiologische Zusammenhänge in einzelnen Organen zu erforschen. Die chemische Analyse dient heute vor allem der Überprüfung indirekter Methoden. Mitchell et al. (1998) beispielsweise überprüften die Korrelation zwischen DXA-Messungen und chemischer Analyse bei jungen Schweinen. Es ergab sich eine sehr gute Korrelation für die Parameter Körperwasser, Protein, Magergewebemasse und Knochenmineralgehalt ( $r = 0,94 - 0,99$ ). Für Fettgewebemasse ergab sich  $r = 0,96$ , im Gegensatz zu dem prozentualen Fettanteil, der eine gute Korrelation von  $r = 0,86$  aufwies. Auch Speakman et al. (2001) verglichen Ergebnisse von DXA-Messungen mit Ergebnissen aus chemischer Analyse. Bei dem Versuch wurden zehn Katzen und sechs Hunde untersucht. Die Korrelation der Ergebnisse war hier ebenfalls sehr hoch ( $r = 0,982 -$

1,00) für alle ausgewählten Parameter (Körpermasse, Magergewebemasse, Körperwassergehalt und Fettmasse).

Die chemische Analyse wurde auch im Bereich der Erforschung der Körperzusammensetzung von Kälbern verwendet. Blome et al. (2003) und Buckley et al. (1990) nahmen diese Methode als Grundlage für ihre Forschungsarbeiten. Es wurden verschiedene Rassen sowohl des Milchtyps (Holsteins) als auch des Fleischtyps (Simmental, Charolais und Hereford) unterschiedlichen Alters untersucht. Buckley konnte bei den Schlachtkörpern von drei Monate alten Simmentalkälbern 68,6% Wasser, 7,0% Fett, 20,0% Protein und 4,0% Asche feststellen. Blome fand bei Holsteinkälbern vergleichbaren Alters ähnliche Ergebnisse bei allen Parametern (Wasser : 72,36%, Protein : 19,45% und Asche : 4,7%), ausgenommen den Fettgewebeanteil (3,96%).

Von dieser Möglichkeit, die Körperzusammensetzung zu analysieren, welche naturgemäß ausschließlich in vitro erfolgen kann, ist die Neutronenaktivierungsanalyse abzugrenzen. Diese ist auch in vivo möglich. Hierbei wird ein Körper mit Neutronen bekannter Energieebenen beschossen. Die Neutronen werden von spezifischen chemischen Elementen (z.B. Stickstoff, Kalzium, Chlor und Kohlenstoff) abgefangen und bewirken die Bildung instabiler Isotope der Elemente, die bei der Rückkehr in ihren Ausgangszustand Energie in Form von Gammastrahlen abgeben. Diese Gammastrahlen weisen eine sehr spezifische Energie, abhängig von der Formierung des Isotops auf. Anhand der Strahlungsenergie kann somit der Gehalt eines bestimmten Elementes berechnet werden. Kritisch ist bei dieser Methode sicherlich die Strahlenbelastung zu beurteilen.

#### 2.1.2.2. Indirekte Methoden

Die meisten im Folgenden beschriebenen Verfahren sind in vivo anwendbar. Ellis (2000 und 2001), Mitchell und Scholz (2001b) und Lukaski (1987) geben in ihren Arbeiten eine Zusammenfassung der Methoden und kurze Erklärungen, auf welchen physikalischen Grundlagen die jeweiligen Messmethoden basieren.

Eine relativ einfache Methode ist die Anthropometrie. Dabei werden das Gewicht, die Körpergröße, die Länge und der Umfang verschiedener Körperteile und die Hautfal-

tendicke gemessen. Dies erfolgt mittels Waage und Massband, ist dadurch kostengünstig und diese Geräte bedürfen keinerlei Extrakenntnisse der Benutzer. Beispielsweise bedienten sich Arrayet et al. (2002) dieser Methode, um das Wachstum von Holsteinkälbern vom Zeitpunkt der Geburt bis zum Alter von 90 Tagen zu untersuchen.

In der Humannmedizin entstand durch die Anthropometrie die Möglichkeit, einen Körpermassenindex (Body Mass Index = BMI) berechnen zu können. Der BMI berechnet sich aus Körpergewicht / Körpergröße<sup>2</sup>. Diese Formel ist heute Bestandteil der Feststellung von Übergewicht.

Kritisch wird bei dieser Methode angemerkt, dass die Messpunkte nicht eindeutig zu lokalisieren sind und dadurch Messergebnisse stark von der durchführenden Person abhängen.

Eine weitere Methode die Körperzusammensetzung festzustellen, ist die Messung des Körpervolumens. Eine Möglichkeit stellt das sog. Unterwasserwiegen dar, wobei von einem zwei Komponenten-Modell der Körperzusammensetzung ausgegangen wird, also Fett und fettfreie Masse. Aus Ergebnissen der chemischen Analyse konnten Gleichungen erstellt werden, durch die eine Berechnung dieser beiden Komponenten möglich ist. So liegt die Dichte von Fett bei 0,9, von Magergewebe bei 1,1 und von Knochen bei 1,8. Bei der Berechnung wird aber davon ausgegangen, dass die Dichte der fettfreien Masse konstant ist, ebenso wie der Anteil von Knochen und Wasser. Dieses trifft erwiesenermaßen aber nicht zu (Ellis, 2001). Die Dichte wird von Geschlecht, ethnischer Herkunft, Wachstum, physischer Aktivität und dem Alter beeinflusst. Ellis (2001) beschreibt zwei neuere Verfahren, die aus der Unterwasserwiege weiterentwickelt wurden. Das erste basiert auf Luftverdrängungs-Plethysmografie: es existieren zwei Kammern, wobei sich in einer der Proband befindet und die andere als Referenz dient. Nun werden die Luftdruckveränderungen gemessen und das Körpervolumen des Probanden errechnet. Untersuchungen haben sehr gute Übereinstimmungen zwischen diesem Verfahren und dem Unterwasserwiegen ergeben. Für die Untersuchung von Tieren ist diese Methode eher ungeeignet, da In- und Expiration des Probanden gesteuert werden müssen und der Proband sich nicht bewegen darf. Beides ist bei der Arbeit mit Tieren schwierig zu kontrollieren. Dem zweiten Verfahren liegt eine dreidimensionale Bildrekonstruktion

der Körperoberfläche mittels eines Photonen-Scanner zu Grunde. Auf die weitere Funktionsweise dieser Methode geht Ellis (2001) nicht genauer ein. Er beschreibt die Vorteile der Methode, die in einer kurzen Scan-Zeit liegen und der Proband sich weder unter Wasser noch in einem sehr engen Raum befinden muß. Außerdem hat man die Möglichkeit, von Unterschieden der Körperkontur auf Veränderungen im subkutanen Fettgewebe schließen zu können.

Die bioelektrische Impedanz Analyse (BIA) basiert auf dem physikalischen Phänomen des Spannungsabfalls des elektrischen Flusses in einem biologischen System bei Zuführung von Schwachstrom. Dieser Spannungsabfall ist proportional zu dem Flüssigkeitsvolumen zwischen den Körperteilen, an denen die beiden Elektroden angebracht werden. Bedingung dafür ist, dass der Körper wie eine zylindrische Leitung funktioniert und die Länge der Leitung proportional zur Körperlänge ist. Sind diese Voraussetzungen gegeben, ist der Impedanz-Index ( $= \text{Höhe}^2 / \text{Widerstand}$ ) proportional zum Körperwasservolumen. Diese Methode ist kostengünstig und die Ergebnisse sind gut reproduzierbar. Velazco et al. (1999) verwendeten dieses Verfahren in ihrer Studie bei Ochsen der Rasse Holsteins. Sie untersuchten die Schlachtkörper von Tieren, die mit drei, sechs, neun oder zwölf Monaten geschlachtet wurden. Das Ergebnis der Arbeit war, dass BIA eine genaue und praktikable Möglichkeit darstellen kann, die fettfreie Masse in Schlachtkörpern von Holsteins Ochsen zu berechnen. Aber vor allgemeiner Anwendung dieser Methode sind ihrer Meinung nach weitere Untersuchungen nötig, die bestimmte Auswirkungen wie z.B. die Platzierung der Elektroden, der Füllungsgrad des Gastrointestinaltraktes, Änderungen in der Körperzusammensetzung und die Stärke und Art des elektrischen Impulses festlegen.

Neuere Möglichkeiten zur Ermittlung der Körperzusammensetzung sind einige bildgebende Verfahren, die allerdings hohe Anforderungen an das sie benutzende Personal haben und deren Geräteanschaffung und –wartung relativ teuer ist.

Bei der Ultraschalluntersuchung werden Schallwellen durch den Körper geschickt, die abhängig vom Gewebe unterschiedlich stark reflektiert werden. Das reflektierte Signal wird mittels eines Computers in ein zweidimensionales Bild umgewandelt, in dem dann lineare Messungen von bestimmten Geweben erfolgen können. Ultraschalldiagnostik ist in der Tiermedizin weit verbreitet, zum einen im kurativen Bereich

zur Diagnose von Krankheiten, zum anderen in der Tierbeurteilung wie etwa beim Schwein zur Messung der Rückenspeckdicke. Houghton und Turlington (1992) geben in ihrer Arbeit einen Überblick des Einsatzes von Ultraschalluntersuchungen im Nutztierbereich (Schweine, Schafe, Rinder). Sie beurteilen den Nutzen von Ultraschallergebnissen bei Schafen und Rindern jedoch kritisch. Bei Schafen sind die Unterschiede in der Fettdicke zu gering, während beim Rind die Exaktheit der Ergebnisse stark abhängig von der untersuchenden Person und der technischen Ausstattung. Für die praktische Anwendung beim Schwein beurteilen sie die Ultraschalluntersuchung als brauchbar.

Ein weiteres Verfahren ist die Computertomografie, bei der sich der Proband in einer Röhre befindet, die um den Körper rotiert. Aus einer Quelle werden Röntgenstrahlen ausgesendet, die direkt gegenüber in der Röhre wieder an einem Detektor auftreffen. Auf ihrem Weg durch den Körper werden die Röntgenstrahlen abhängig von dem Gewebe, welches sie durchdringen, unterschiedlich stark abgeschwächt und gestreut. Aus diesen Differenzen kann über Computerberechnung ein zweidimensionales Bild erstellt werden, wobei der Kontrast zwischen Fett- und Magergewebe sehr gut, der Kontrast zwischen bzw. innerhalb den einzelnen Magergewebearten weniger deutlich ist. Allerdings ist die hohe Strahlenbelastung des Probanden limitierender Faktor für eine häufigere Anwendung.

Magnet-Resonanz-Tomografie (MRI = Magnetic Resonance Imaging) basiert auf dem Drehimpuls (sog. Spin) und dem magnetischen Impuls von Atomkernen mit ungerader Protonen- bzw. Neutronenzahl wie z. B. Wasserstoff (Lissner und Fink, 1992). In einem statischen Magnetfeld, das mit bestimmten Drehspulen kombiniert ist, wechseln einige Atomkerne in ein höheres Energieniveau, nachdem sie mit Radiowellen angeregt wurden. Danach kehren sie wieder in ihre Ausgangsposition zurück, wobei sie die aufgenommene Energie abgeben. Diese wird von Empfänger-Magnetspulen aufgefangen und kann über einen Computer in ein Bild transformiert werden. Die Intensität eines solchen Signals ist abhängig von dem zugrunde liegenden Gewebe und den Relaxationszeiten. Diese Relaxationszeit ist die Zeit, die der Atomkern benötigt, um wieder in seine Ausgangsposition zurückzukehren und wird ebenfalls zur Bilderzeugung herangezogen. Es werden die longitudinale und transversale Relaxationszeit gemessen und können unabhängig einzeln voneinander be-



stimmt werden. Die longitudinale Relaxationszeit ist stark abhängig von der Bindung des Wasserstoffs an seine Umgebung, d.h. Gewebe mit gleicher Wasserstoffkonzentration und verschiedenem Relaxationsverhalten können durch Messung der longitudinalen Relaxationszeit voneinander unterschieden werden. Dieses Verfahren ist gesundheitlich unbedenklich und kann deswegen auch häufiger bei einem Patienten angewendet werden. Ganzkörperuntersuchungen sind allerdings aufgrund der umfassenden Anforderungen an die Datenverarbeitung bisher nur zu Forschungs- und Validierungszwecken durchführbar. Mitchell et al. (2001a) untersuchten die Körperzusammensetzung von Schweinen mittels MRI. Sie führten zwei Versuchsansätze durch. In dem ersten Teil wurden die in vivo ermittelten MRI-Volumina bestimmter Organe verglichen mit den Organgewichten nach Sektion der Tiere. Die Korrelationen lagen zwischen 0,8 und 0,95. In der zweiten Versuchsreihe wurden MRI-Messungen von Fett- und Muskelregionen durchgeführt und durch Regression die Bestimmung von Gesamtkörperfettgewebe, Magergewebe und Protein evaluiert. MRI bietet laut den Autoren Daten von bestimmten Rücken- und Schinkenregionen, die eine genaue Aussage über die Körperzusammensetzung bei Schweinen zulassen.

## 2.2. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

### 2.2.1. Funktionsweise

Nagy (2001), Mitchell und Scholz (2001) und Pietrobelli et al. (1996) beschreiben detailliert die Funktionsweise der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA).

Allgemein ist dieses Verfahren eine nicht-invasive Möglichkeit, Knochenmineraldichte (in  $\text{g}/\text{cm}^2$ ), Knochenmineralgehalt (in g), Fettgewebe (in g) und Magergewebe (in g) und deren prozentuale Anteile in einem Körper bzw. in Körperteilen zu messen und zu berechnen. Dieses ist prinzipiell bei allen lebenden Individuen möglich, wobei die Grösse und Belastbarkeit des Scannertisches den limitierenden Faktor darstellen.

DXA ist eine Technik, die aus der Dual-Photon-Absorptiometrie weiterentwickelt wurde. Bei der DXA-Untersuchung geht man von dem Drei-Komponentenmodell aus, also dass der Körper aus Knochen, Fett- und Magergewebe besteht. Das zugrunde liegende physikalische Prinzip von DXA ist die Abschwächung von Photonen auf ihrem Weg durch einen Absorber, in diesem Fall Fett- oder Magergewebe bzw. Knochen. Der Abschwächungsgrad ist von mehreren Komponenten abhängig: u.a. von dem initialen Energieniveau des Photons, dem linearen Schwächungskoeffizient und der Strecke, die das Photon zurücklegt. Der lineare Schwächungskoeffizient ist abhängig von der Dichte. Daraus wiederum lässt sich der Massenschwächungskoeffizient durch Division des linearen Schwächungskoeffizienten durch die Dichte der gemessenen Substanz errechnen. Werden wie beim DXA-Verfahren zwei Energieniveaus (38 keV und 70keV) benutzt, kann der R-Wert berechnet werden. Dieser R-Wert ist der Massenschwächungskoeffizient des niedrigeren Energieniveaus geteilt durch den des höheren Energieniveaus. Pietrobelli (1996) gibt eine Übersicht der R-Werte von bestimmten chemischen Elementen und Verbindungen (Tab. 1).

Tab. 1:

Theoretische R-Werte ausgewählter chemischer Elemente und Verbindungen nach PIETROBELLI et al. (1996); (aus Soffner, 2003)

Chemische(s) Verbindung bzw. Element	Theoretischer R-Wert
Wasserstoff	1.0891
Kohlenstoff	1.2199
Stickstoff	1.3043
Sauerstoff	1.4167
Natrium	1.9045
Phosphor	2.7418
Chlor	3.1510
Calcium	3.5422
Fettsäuren	1.2058 - 1.2289
Triglyceride	1.2139 - 1.2333
Proteine	1.2906
Wasser	1.3572
Knochenminerale	2.8617

Da die Hauptanteile des Körpers (Fettgewebe, Magergewebe, Knochen) aus unterschiedlichen Elementanteilen bestehen, unterscheiden sich ihre R-Werte, wobei Fettgewebe die niedrigsten und Knochen die höchsten R-Werte erreichen. Durch diese Unterschiede ist es bei der DXA-Methode möglich, unterschiedliche Gewebearten voneinander zu unterscheiden.

Die praktische Durchführung einer DXA-Untersuchung (Scan) beginnt mit der Lagerung eines Probanden auf dem Scannertisch. Die Röntgenquelle ist innerhalb des Tisches positioniert und liefert die Photonen, deren Energie in einem Ceriumfilter in zwei Niveaus (38 und 70 keV) unterteilt wird. Über dem Probanden ist eine Photomultiplier-Röhre in einem beweglichen Arm angebracht, die die Photonen quantifiziert. Beide Teile bewegen sich rasterförmig über bzw. unter dem Körper. Die Ab-

schwächung der Röntgenstrahlen ist abhängig von der Anfangsstrahlungsintensität, dem Massenschwächungskoeffizienten von Knochen und Weichgewebe und deren Dichte.

Die Daten werden in Pixeln gesammelt, deren Größe von dem Gerät und dem Scan-Modus abhängen. Über die Software des Gerätes ist dann eine Feststellung der Gewebekomponenten in jedem einzelnen Pixel möglich und daraus wiederum lassen sich die Gewebeanteile für den ganzen Körper errechnen.

### 2.2.2. DXA beim Menschen

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie wird in der Humanmedizin in verschiedenen Bereichen eingesetzt. Grier et al. (1996) beschreibt den Einsatz des Verfahrens in der Osteoporosediagnostik und dem altersbedingten Knochenschwund.

Dort löste DXA die quantitative Computer-Tomografie ab, die zum einen wesentlich teurer und zum anderen der Patient einer 30ig mal höheren Strahlungs-dosis ausgesetzt war.

Eine weitere Anwendung von DXA ist die Ermittlung von Veränderungen der Körperzusammensetzung durch sportliche Betätigung (Sabo et al. 1996).

Außerdem wird diese Methode auch bei Studien zur genetischen Komponente bei Übergewicht eingesetzt (Deng et al. 2001).

### 2.2.3. DXA beim Kleintier

Im Kleintiersektor wurde das Verfahren bei den unterschiedlichsten Tieren bisher verwendet. Gala Paniagua et al. (1998) und Bertin et al. (1998) untersuchten Ratten, wobei Bertin et al. das DXA-Verfahren mit der chemischen Analyse der Körperzusammensetzung verglichen, um so die Ergebnisse aus DXA Untersuchungen evaluieren zu können. Das Ergebnis der Arbeit war, dass Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie ein geeignetes Verfahren zur Messung der Ganzkörperzusammensetzung bei Ratten darstellt. Gala Paniagua et al. (1998) untersuchten vor allem die Präzision von DXA bei der Abschätzung des Knochenmineralgehaltes und der Knochenmineraldichte bei Ratten. Sie untersuchten Lendenwirbelsäule (in vivo)

und Femur (in vitro) und errechneten dann die Korrelation ( $r$ ) zwischen den Knochenmineralgehalt-Werten von DXA und aus der Knochenasche. Das Ergebnis war eine gute Korrelation der beiden Verfahren bezüglich der Knochenmineraldichte ( $r = 0,64 - 0,85$ ) und eine sehr gute Korrelation bezüglich dem Knochenmineralgehalt ( $r = 0,99$ ).

Zusammenfassend beurteilen auch diese Autoren das DXA-Verfahren als geeignete Möglichkeit, Knochenmineraldichte und –gehalt bei kleinen Labortieren zu ermitteln. Außerdem geben sie für diese Methode eine ausreichende Richtigkeit (engl.: accuracy) und Exaktheit (engl.: precision) der Ergebnisse an. Auf diese beiden Begriffe gehen Grier et al. (1996) in ihrer Arbeit genauer ein und definieren sie wie folgt: Richtigkeit ist das Maß der Abweichung von dem „tatsächlichen“ Ergebnis. Die Richtigkeit wird als Standard-schätzfehler bezeichnet und in Prozent angegeben. Die Richtigkeit bei DXA-Untersuchungen wird meistens durch einen Vergleich dieses Verfahrens mit einem anderen Verfahren, z.B. Chemische Analyse, gemessen. Die Exaktheit einer Methode bezeichnet die Möglichkeit der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen bei wiederholten Messungen.

Die Arbeit von Fink et al. (2002) befasst sich mit der Messung der Knochenparameter bei Meerschweinchen. Hier wurden Richtigkeit und Exaktheit transportabler DXA-Einheiten überprüft. 30 Hintergliedmaßen wurden sowohl in situ als auch die isolierten Knochen dieser Gliedmaßen ex situ untersucht. Es wurden neun genau definierte Untersuchungsbereiche (Regions of interest = ROI) ausgewählt und zweimal hinsichtlich der Knochenmineraldichte und des Knochenmineralgehaltes durch drei verschiedene Untersucher analysiert. Zudem wurden der durch DXA ermittelte Knochenmineralgehalt ganzer Knochen bzw. Knochenfragmente mit Ergebnissen aus der Knochenaschebestimmung korreliert. Das Ergebnis war, dass DXA bei kleinen Tieren genaue Untersuchungsergebnisse liefert, wobei bei den in situ Messungen die ROIs genau eingehalten werden müssen und die zu untersuchenden Knochen möglichst dicht an der Scanoberfläche gelegen sein sollten.

Tamada et al. (1998) erforschten den Effekt der Immobilisierung auf die Nebenschilddrüse bei Goldhamstern. Knochenmineraldichte und –gehalt wurden mit DXA an Tag 1 und 5 des Versuchs bestimmt. Aus den Veränderungen dieser Parameter konnten so Rückschlüsse auf bestimmte Stoffwechselvorgänge gezogen werden.

Die Studie von Speakman et al. (2001) diente der Bewertung von DXA-Messungen bei Hunden und Katzen. Hier wurde ein Vergleich mit Ergebnissen aus der chemischen Analyse der Tierkörper angestellt. Es ergaben sich sehr gute Korrelationen ( $r$ ) der Messergebnisse: für Magergewebe betrug  $r = 0,999$  und für Fettgewebe  $0,982$ . Individuelle Diskrepanzen waren zum Teil nicht unwesentlich, wobei die Autoren dies mit dem Wassergehalt des Magergewebes in Verbindung brachten.

#### 2.2.4. DXA bei Nutztieren

Auch bei den Nutztieren ist das DXA-Verfahren eine immer häufiger angewendete Methode zur Ermittlung der Körperzusammensetzung. Bisher wurden vor allem Geflügel, Schafe und Schweine näher untersucht.

Mitchell et al. (1997) evaluierten die Methode zur Untersuchung von wachsenden Masthähnchen. Sie benutzten zwei verschiedene Scan-Modi (neonatal und high resolution Mode) und verglichen die Ergebnisse mit Ergebnissen aus der chemischen Analyse. Für das Fettgewebe stellten sie fest, dass die Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Methoden bei Tieren über 2 kg am größten war. Das DXA-Ergebnis für Magergewebe war sehr gut korreliert mit den Messwerten aus der chemischen Analyse für Protein und Gesamtkörperwasser. Allerdings konnten für beide Parameter daraus keine prozentualen Werte ermittelt werden. Das Verhältnis des DXA-Knochenmineralgehaltes zur Gesamtkörperasche betrug  $0,77$ , die Korrelation ( $r$ ) aber nur  $0,68$ . Daraus schließen die Autoren, dass DXA zwar potentiell für die Untersuchung der Körperzusammensetzung bei Masthähnchen geeignet ist, aber vor Routineeinsätzen weitere Verbesserungen des Verfahrens notwendig sind. Zu einem ähnlichen Schluß kommen Buyse et al. (2003) und Swennen et al. (2004) in ihren Forschungsarbeiten über die Verwendung von DXA beim Geflügel. Beide benutzten die chemische Analyse zur Validierung ihrer DXA-Ergebnisse und fanden sehr gute Korrelationen bezüglich der Fett- und Magergewebemasse, Knochenmineraldichte und -gehalt. Bei beiden Autoren traf dies nicht für den prozentualen Fettanteil zu.

Diverse Arbeiten beinhalten die Anwendung von DXA bei Schweinen unterschiedlicher Altersklassen und mit unterschiedlicher Problemstellung (Murry et al. 1999, Picaud et al. 1999, Hammami et al. 2001, Mitchell et al. 1996, 1998, 1998a, 2001,

Scholz et al. 2002, Soffner 2003, Koo et al. 2004). Mitchell et al. (1996) evaluierte zunächst die Methode, indem er vergleichbare Ergebnisse aus chemischer Analyse korrelierte. Die Versuchstiere lagen in der Gewichtsklasse von 10,2 – 60,5 kg. Für den Gesamtkörperfettgehalt lag die Korrelation  $r$  bei 0,915, wobei DXA bei fetten Schweinen höhere und bei mageren Tieren zu niedrige Messwerte errechnete. Ähnliche Ergebnisse lagen bei der Messung des prozentualen Fettanteils vor. Beim Magergewebeanteil, der das Weichgewebe ohne Fett darstellt, ergab sich eine hohe Korrelation zum Gesamtprotein ( $r = 0,97$ ). Mitchell et al. (1998a) untersuchten jüngere Tiere (5 – 30kg) unter Verwendung eines Pädiatrie-Modus und verglichen wiederum die Ergebnisse mit der chemischen Analyse. Bei der Bestimmung des Fettgewebeanteils ergab die DXA-Messung signifikant niedrigere Werte ( $6,9 \pm 0,33\%$ ) als die chemische Analyse ( $10,9 \pm 0,31\%$ ), die Korrelation für den Fettgewebeanteil betrug 0,86 und für die Fettgewebemasse 0,96. Im Gegensatz dazu wurden bei der Bestimmung des Magergewebes sehr gute Korrelationen berechnet (für Körperwasser = 0,99, für Protein = 0,94). Picaud et al. (1999) untersuchten neugeborene Ferkel mittels DXA, wobei zwei Software-Programme (Pediatric Whole Body und Infant Whole Body) verglichen und hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit und der Genauigkeit überprüft wurden.

Schafe waren Probanden bei Turner et al. (1995) und Clarke et al. (1999). Turner wandte DXA sowohl bei lebenden Schafen als auch bei Schlachtkörpern an und untersuchte bei beiden Teile der Lendenwirbelsäule, den Calcaneus und den distalen Radius. Aus den Ergebnissen dieser Knochen errechnete er die Korrelation, die bei anästhesierten Tieren sehr gut ( $r = 0,944 - 0,843$ ) und bei den isolierten Knochen aus den Schlachthälften gut ( $r = 0,677 - 0,507$ ) war. Clarke et al. (1999) untersuchten die Anwendbarkeit von DXA zur Beurteilung von Schlachtkörpern bei Schafen. Dazu nahmen sie zum einen Schlachtkörperhälften und zum anderen Teile von Schlachtkörpern (Hinterbeinregion) und verglichen die DXA-Ergebnisse mit Ergebnissen aus der chemischen Analyse. Die Korrelationen waren bei beiden Versuchsansätzen sehr gut. Bei der Ganzkörpermessung lag die Korrelation für den Fettanteil bei 0,96, für Fettgewebemasse bei 0,98 und für das Magergewebe (zusammengesetzt aus Protein und Wasser) bei 0,99. Für die zerlegten Anteile errechneten sie folgende Korrelationen: Magergewebe 0,98, Fettgewebe 0,96 und das per Waage

ermittelte Gewicht 0,99. Die Ergebnisse dieser Arbeiten lassen den Schluß zu, dass DXA eine geeignete Möglichkeit ist, die Körperzusammensetzung bei kleinen Wiederkäuern zu untersuchen und damit der Versuch, dieses Verfahren bei Kälbern anzuwenden, durchaus berechtigt ist.



Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztlichen Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität, München

JULIA HAMPE, STEFAN NÜSKE, ARMIN M. SCHOLZ und MARTIN FÖRSTER

## Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

### 1) Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Körperzusammensetzung und das Wachstum von 214 Kälbern (6 – 50 Tage alt) unterschiedlicher genetischer Herkunft in vivo mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). Bezüglich der Körperzusammensetzung sind Unterschiede zwischen den Genotypen der Kälber bzw. der Elterntiere festgestellt worden. So waren reinrassige Deutsche Holstein Kälber hinsichtlich Knochenmineraldichte, Knochenmineralgehalt, Knochenmineralanteil, Fettgewebsanteil und Masse den anderen Genotypen unterlegen. Umgekehrte Verhältnisse lagen beim Magerweichgewebsanteil vor. Im Rahmen der Wachstumsuntersuchung wurde neben den Gewebezunahmen (Magerweichgewebe, Fettgewebe, Knochenmineral) auch der Futterverbrauch untersucht. Des Weiteren wurden hier Effekte des Geburtstyps und der Laktationsnummer der Muttertiere deutlich. So wiesen Zwillingskälber signifikant höhere tägliche Gewichtszunahmen auf als Kälber aus Einlingsgeburten. Kälber von Jungkühen (1. Laktation) zeigten die höchsten täglichen Zunahmen zwischen 2. und 3. Scan, wohingegen Kälber von Viert- bzw. Fünftlaktierenden am wenigsten zunahmen.

Eine Analyse verschiedener Scan Modi "normal" und "Pediatry groß" ergab eine sehr gute Korrelation der Messwerte ( $r \geq 0,90$ ) mit Ausnahme von Magerweichgewebe- ( $r = 0,62$ ), Fettgewebeanteil ( $r = 0,70$ ) und R-Wert ( $r = 0,69$ ). Zusammenfassend ist das DXA-Verfahren als eine geeignete Möglichkeit zur Ermittlung der Körperzusammensetzung und des Wachstums bei Kälbern zu beurteilen.

Schlüsselwörter: Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie, Kälber, Körperzusammensetzung, Wachstum

## 2) Abstract

Title of the paper: **In vivo analysis of body composition and growth of calves of different genetic origin using dualenergy x-ray absorptiometry (DXA)**

In vivo body composition and growth of 214 calves (6-50 days old) of different genetic origin were analyzed using dual-energy x-ray absorptiometry (DXA). A whole body scan was performed. Looking at body composition there were differences among calf genotypes and parent genotypes. Purebred German Holstein calves showed lower bone mineral density, bone mineral content, bone mineral percentage, fat tissue percentage and weight than the other genotypes. Opposite conditions existed for lean tissue percentage. Daily feed intake and tissue growth rates (lean tissue, fat tissue, bone mineral) were recorded from day 0 to day 50 of age. Further effects of birth type and lactation number of dam became obvious. Twins showed a significant higher daily gain than calves of single births. Heifer calves had highest daily gain between Scan 2 and Scan 3 in contrary to calves of cows of fourth or fifth lactation number.

Within the study two scan modes were compared. A comparison between two scan modes "normal" and "pediatric large" showed a high correlation of selected values ( $r \geq 0,90$ ) except for lean tissue percentage ( $r = 0,62$ ), fat tissue percentage ( $r = 0,70$ ) and R-value ( $r = 0,69$ ).

In conclusion DXA is a very suitable method for examination of body composition and growth of calves.

Key Words: dual-energy x-ray absorptiometry, calves, body composition, growth

## 1. Einleitung

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) als Untersuchungsmethode in der Erforschung von Körperzusammensetzungen bei Tieren ist ein immer häufiger verwendetes Verfahren. Die ursprünglich für die Humanmedizin entwickelte Analysemethode wird dort vor allem im Bereich der Osteoporosediagnostik eingesetzt.

In der Veterinärmedizin liegen mittlerweile einige Forschungsarbeiten im Bereich der Kleintiere (SPEAKMAN et al. 2001) und kleiner Heimtiere (FINK et al., 2002; TAMADA, 1998; BERTIN et al., 1998; GALA PANIAGUA et al., 1998) vor. Bei den landwirtschaftlichen Nutztieren sind bisher vor allem Schafe (TURNER et al.; 1995; POUILLES et al., 2000), Geflügel (MITCHELL et al., 1997; SWENNEN et al. 2004) und Schweine (MITCHELL and SCHOLZ, 1997; MITCHELL et al., 1998; PICAUD et al., 1999; HAMMAMI et al., 2001; MITCHELL et al., 2001; MITCHELL et al., 2002; SCHOLZ et al 2002; KOO et al., 2004) untersucht worden.

Intention dieser Arbeit ist es, im Rahmen eines Kreuzungsversuches zwischen den Rassen Deutsches Fleckvieh und Deutsche Holstein das DXA Verfahren erstmals bei Kälbern in vivo einzusetzen, um damit Erkenntnisse über deren Wachstum und Körperzusammensetzung zu erlangen. Diese Studie ist Teil eines Projektes, das sich außerdem mit der Untersuchung des Klauenwachstums bei neugeborenen Kälbern befasst (NÜSKE et al., 2002) sowie in einer noch andauernden Studie Referenzuntersuchungen zwischen DXA-Analyse und Totalzerlegung (MUSICK, persönliche Mitteilung) befasst.

Die DXA-Untersuchung zählt zu den häufig in der Humanmedizin angewendeten Techniken zur Ermittlung der Körperzusammensetzung und zeigt eine sehr große Präzision und Genauigkeit. Diese werden von ELLIS (2001) mit 2-3% bzw. ~ 5% für die Fettmasse angegeben. KOO et al. (2000) errechneten in ihrer Studie eine sehr hohe Korrelation ( $r = 0,99$ ) bei Ergebnissen von wiederholten DXA-Messungen. Dies spricht für eine sehr gute Wiederholbarkeit des Messverfahrens, die in Abhängigkeit von Gerät und Softwaremodus  $> 75\%$  liegt (MITCHELL et al., 1998; SCHOLZ, 2002).

## 2.0 Material und Methoden

## 2.1 Tiermaterial

Insgesamt wurden 214 Kälber im Zeitraum von November 2000 bis August 2004 einer Untersuchung durch den DXA – Scanner (GE Lunar DPX IQ, Madison, WI) unterzogen. Der erste Scan fand in der ersten Lebenswoche der Kälber statt, gefolgt von zwei weiteren Untersuchungen jeweils im Abstand von drei Wochen. Scan 2 wurde mit 168 und Scan 3 mit 143 Kälbern durchgeführt. Verringerte Tierzahlen begründen sich vor allem durch Krankheit der Tiere zu den entsprechenden Terminen oder durch Verenden der Kälber.

An der Studie waren Kälber der Rassen Deutsches Fleckvieh (FV), Deutsche Holstein (DH), F1- Kreuzungstiere (DHxFV bzw. FVxDH) und Rückkreuzungen (DHxKR, FVxKR) beteiligt. Eine Verteilung der Tierzahl nach Genotyp und Geschlecht findet sich in Tabelle 1.

Tab.1: Tiermaterial der verschiedenen Genotypen unterteilt in männlich und weiblich (Number of calves within the study of different genetic origin divided in male and female)

<b>Geschlecht</b>	<b>FVxFV</b>	<b>FVxKR</b>	<b>FVxDH</b>	<b>DHxFV</b>	<b>DHxKR</b>	<b>DHxDH</b>
<b>der Kälber</b>						
<b>männlich</b>	24	9	24	21	8	17
<b>weiblich</b>	20	12	16	25	19	19
<b>gesamt</b>	44	21	40	46	27	36

FV = Fleckvieh, DH = Deutsche Holstein, KR = Kreuzung; (FV = German Fleckvieh, DH = German Holstein, KR = crossbred animal)

Die Kälber stammten aus 148 verschiedenen Muttertieren, davon 52 Jungkühe und 96 Kühe (Laktationsnummer 2-5) sowie von 22 Vatertieren ( 9 DH, 13 FV). Auch die Muttertiere wurden entsprechend ihrer Rassezugehörigkeit in drei Gruppen unterteilt (Tab. 2).

Tab.2: Anzahl bei den Genotypen der Muttertiere; Kreuzungstiere = 25%-75% Deutsche Holsteins-Anteil (Number of mother genotypes; crossbreds = 25%-75% German Holstein percentage)

<b>Anzahl</b>	<b>Fleckvieh</b>	<b>Kreuzungstiere</b>	<b>Deutsche Holstein</b>
<b>n</b>	58	41	49

Alle Kälber wurden im Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim geboren. Insgesamt stammten 34 Kälber aus Zwillingsgeburten und einer Drillingsgeburt, davon waren 22 weiblich und 12 männlich.

## 2.2 Das DXA-Verfahren

Die Grundlage der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie ist das Drei-Komponenten-Modell: Körpergewicht = Magerweichgewebe + Fettgewebe + Knochenmineralstoffe. Daraus ergibt sich, dass Magerweichgewebe alles umfasst (Knorpel, innere Organe, Bindegewebe, etc.), was nicht Fettgewebe und Knochenmineralstoffe ist. PIETRO-BELLI et al. (1996) geben eine schematische Darstellung des Körper-Modells für DXA (Abb. 1).

Die Funktionsweise des Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie-Scanners basiert auf der Verwendung eines Ceriumphotonen-Filters, mit dem es möglich ist, die polyenergetische Röntgenstrahlung in zwei Energieniveaus, 38 keV (Kiloelektronenvolt) und 70 keV, zu teilen. Die Messwerte entstehen durch die unterschiedliche Abschwächung der niedrig- und hochenergetischen Röntgenstrahlen durch Fett- oder andere Weichgewebe bzw. durch Knochen. Der Fett- und Magerweichgewebsgehalt eines jeden Meßpunktes, der kein Knochengewebe enthält, beruht auf dem Röntgenschwächungskoeffizienten für Weichgewebe (R-Wert), der unabhängig von der Gewebsdicke ist. Der theoretische R-Wert für Knochen beträgt 2,8617, für Lipide 1,2058 – 1,2333 und für Wasser 1,3572 (Pietrobelli et al. 1996). Die Unterteilung in Knochen und Weichgewebe erfolgt über software-interne Algorithmen (SCHOLZ, 2002).

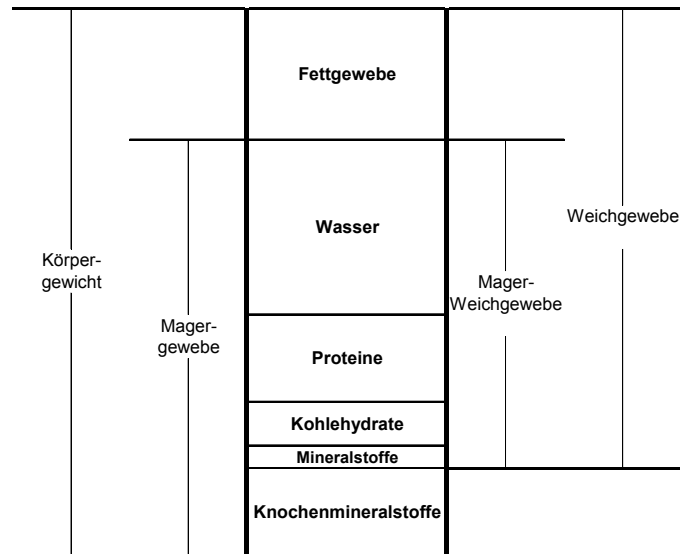


Abb. 1: Modell der Körperzusammensetzung nach PIETROBELLI (1996) (Model of body composition, modified after PIETROBELLI, 1996)

### 2.3 Untersuchungsablauf

Die Tiere wurden mittels einer Ketamin/Xylazin2% Mischung intramuskulär sediert (Dosierung 11,5 mg/kg bzw. 0,2 mg/kg). Danach folgte eine Gewichtsermittlung der Probanden auf der Balkenwaage. Für den DXA- Scan wurden die sedierten Tiere auf dem Scanner-Tisch in Brustlage gelagert.

Bei diesem Versuch handelt es sich um eine Ganzkörperanalyse im Scan Modus „normal“. 20 Kälber wurden zusätzlich im Scan Modus "Pediatrie groß" gescannt. Die Unterschiede der beiden Scan Modi sind die Größe der Meßpunkte, bei Modus „normal“ 4,8 x 9,6 mm und bei "Pediatrie groß" 3,6 x 7,2 mm, und das Intervall der Meßpunkte, „normal“: 1/16 und "Pediatrie groß": 1/32. Damit werden mehr und kleinere Punkte bei "Pediatrie groß" gemessen, was zu einer abweichenden Berechnung der Parameter bei beiden Scan Modi führt.

Gemessen wurden Knochenmineraldichte (BMD in g/cm<sup>2</sup>), Knochenmineralgehalt (BMC in g), Knochenmineralanteil (BMPC in %), Weichgewebe (Soft in g) - bestehend aus Magerweichgewebe (Mager in g) und Fettgewebe (Fett in g) - Magerweichgewebsanteil (MagerPC in %), Fettgewebsanteil (FettPC in %) und das DXA Gewicht (DXWT in kg ).

## 2.4 Haltung und Fütterung

Die Kälber wurden direkt nach der Geburt in Kälberiglus außerhalb des Stalles verbracht, wo sie die ersten drei Tage dreimal täglich zwei Liter individuelles Kolostrum erhielten. Ab dem 4. Lebenstag bekamen die Tiere zweimal täglich drei Liter Vollmilch. Nach zwei Wochen erfolgte eine Umstallung der Kälber in einen Kaltstall mit Tiefstreu und Auslauf in Gruppenhaltung. Dort wurde Tränke (Milchaustauscher Bullilac 50 der Fa. Inntaler MilCHFutter GmbH & Co. KG, Zusammensetzung: 22,5% Rohprotein, 19% Rohfett und 50% Magermilchpulver) und Kraftfutter automatisch sowie in Abhängigkeit vom Alter der Tiere zugeteilt (Tränke- und Kraftfutterautomat: Fa. Westphalia). Das pelletierte Kraftfutter bestand aus 28,67% Weizen, 42,33% Hafer, 28% Soja und 1% Mineralfutter. Zudem erhielten die Kälber Grundfutter, bestehend aus Mais- und Grassilage sowie Heu aus dem Futterbarren. Wasser stand ad libitum zur Verfügung.

## 2.5 Statistische Auswertung

Es wurde eine Varianzanalyse mit Hilfe des Statistikpaketes SAS 8.2 unter Verwendung des generalisierten linearen Modells (GLM) durchgeführt.

Folgende Modelle wurden zur Berechnung verwendet:

Für die Merkmale der Körperzusammensetzung wurde folgendes Modell angewendet:

$$Y_{ijklmnop} = \mu + GV_i + GM_j + (GV_i \times GM_j) + G_k + M_l + L_m + MJ_n + MN_o + e_{ijklmnop}$$

$Y_{ijklmnop}$  = Beobachtungswert

$\mu$  = Mittelwert

$GV_i$  = Genotyp Vater (i= 1-5)

$GM_j$  = Genotyp Mutter (j= 1-5)

$GV_i \times GM_j$  = Interaktion Genotyp Vater x Genotyp Mutter (entspricht Genotyp der Kälber)

$G_k$  = Geschlecht ( $k=1-2$ )

$M_l$  = Mehrling ( $l=1-2$ )

$L_m$  = Laktationsklasse ( $m=1-5$ )

$MJ_n$  = Messjahr ( $n=1-5$ )

$MN_o$  = Messnummer ( $o=1-3$ )

$e_{ijklmnop}$  = Restfehler

Für die Analyse der Zunahmen und des Futterverbrauches kam folgendes Modell zur Anwendung :

$$Y_{ijklmnop} = \mu + GV_i + GM_j + (GV_i \times GM_j) + G_k + M_l + L_m + MJ_n + MQ_o + e_{ijklmnop}$$

$Y_{ijklmnop}$  = Beobachtungswert

$\mu$  = Mittelwert

$GV_i$  = Genotyp Vater ( $i=1-2$ )

$GM_j$  = Genotyp Mutter ( $j=1-3$ )

$GV_i \times GM_j$  = Interaktion Genotyp Vater x Genotyp Mutter (entspricht Genotyp der Kälber)

$G_k$  = Geschlecht ( $k=1-2$ )

$M_l$  = Mehrling ( $l=1-2$ )

$L_m$  = Laktationsklasse ( $m=1-5$ )

$MJ_n$  = Messjahr ( $n=1-5$ )

$MQ_o$  = Messquartal ( $o=1-4$ )

$e_{ijklmnop}$  = Restfehler



Für den Vergleich der beiden Scan-Modi wurde eine lineare Regression berechnet, in der die Werte für das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und der „Standard Error of Estimation“ (SEE) als Anhaltspunkte dienen.

Außerdem fand eine Korrektur der Werte statt, die den Weichgewebeanteil (Magerweichgewebe bzw. Fettgewebe) betreffen. Nötig war diese Korrektur, da für den DXA – Fettgehalt (%) eine software-interne Schwellenwertfestsetzung existiert, die bei  $\geq 3,8\%$ , bezogen auf das DXA-Gewicht, liegt. Die Abb. 2 zeigt, dass bei vielen Messungen ( $n=235$ ) - von insgesamt 519 Messungen - die gemessenen R-Werte die Schwelle von 1,39 überschritten. Dadurch wurde der ermittelte Fettgehalt software-intern höher angegeben als entsprechend einer linear fortgesetzten Berechnung zu erwarten gewesen wäre. Deshalb wurden o.g. Werte anhand der R-Werte mit folgender Regressionsgleichung korrigiert: DXA-Fett (%) korr. =  $660,4311 - (472,3975 \times R\text{-Wert})$

Diese Gleichung entstammt aus DXA-Untersuchungen beim Schwein. Hier liegen zahlreiche Messungen ( $n > 200$ ) vor, aus denen hervorgeht, dass eine sehr hohe Korrelation zwischen FettPC und R-Wert besteht ( $r > 0,99$ ), wenn der Fettanteil über 3,8% liegt (SCHOLZ, 2002).

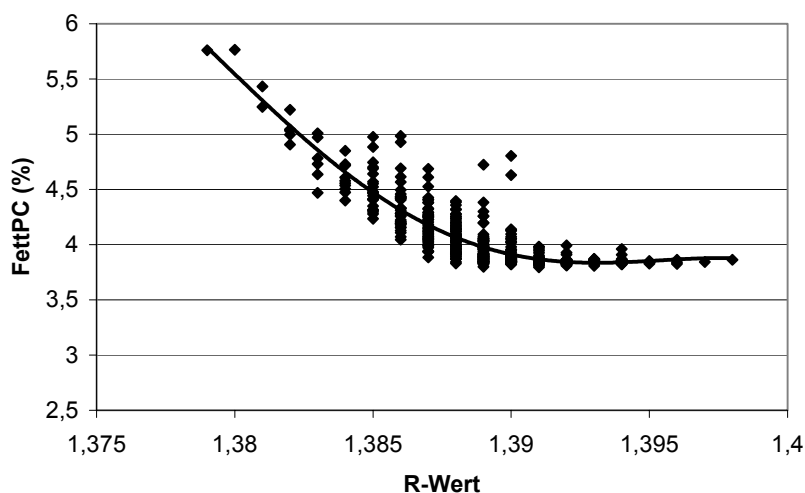


Abb.2: Beziehung zwischen R-Wert und Fettgewebsanteil vor Korrektur der Werte (relation of R-value and fat percentage without correction)

Die Regressionsgleichung aus den Schweinedaten wurde so modifiziert, dass im beobachteten Parameterraum von R keine negativen Fettgehaltswerte beim Kalb auftreten. Abbildung 3 zeigt den Verlauf nach der Korrektur.

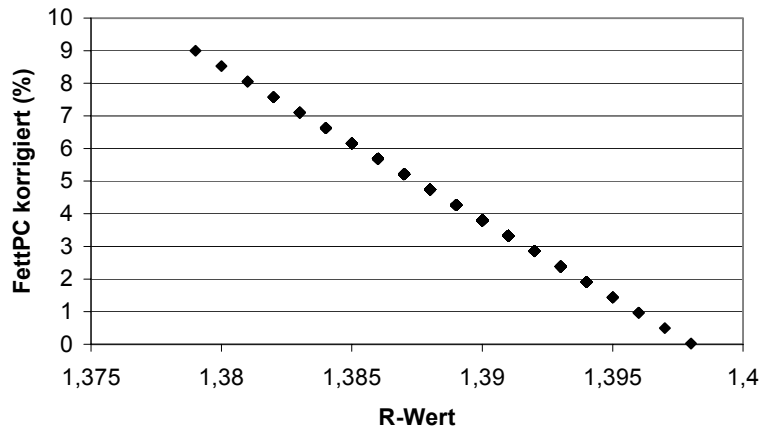


Abb.3: Beziehung zwischen R-Wert und Fettgewebsanteil nach Korrektur der Werte (relation of R-value and fat percentage after correction)

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Effekt des Genotyps der Kälber (s. Tab. 3)

Diese Ergebnisse basieren auf der Auswertung aller drei DXA-Untersuchungen und geben somit einen Durchschnitt der einzelnen Parameter zwischen 6. und 50. Lebenstag der Kälber wieder.

Tab. 3: Effekt des Genotyps der Kälber (kleinste Quadrate Mittelwerte  $\pm$  Standard-schätzfehler) - Effect of calf genotype (Least Squares Means  $\pm$  Standard Error of Estimation)

<b>Genotyp</b>	<b>Kno- chenmi- neral dichte (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kno- chenmi- neral ge- halt (g)</b>	<b>Kno- chenmi- neral an- teil (%)</b>	<b>Mager- weich- gewebs- anteil (%)</b>	<b>Fettge- websanteil (%)</b>	<b>DXA- Gewicht (kg)</b>	
<b>FVxFV</b>	0,978 $\pm$ 0,008 <sup>bc</sup>	2025,6 $\pm$ 30,8 <sup>b</sup>	3,82 $\pm$ 0,04 <sup>bc</sup>	91,65 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	4,53 $\pm$ 0,12 <sup>b</sup>	53,23 $\pm$ 0,62 <sup>bcd</sup>	
<b>FVxKR</b>	0,981 $\pm$ 0,012 <sup>bc</sup>	2070,2 $\pm$ 45,4 <sup>b</sup>	3,84 $\pm$ 0,06 <sup>bc</sup>	91,81 $\pm$ 0,19 <sup>ab</sup>	4,35 $\pm$ 0,18 <sup>ab</sup>	54,04 $\pm$ 0,92 <sup>bcd</sup>	
<b>FVxDH</b>	0,964 $\pm$ 0,009 <sup>b</sup>	2034,8 $\pm$ 34,6 <sup>b</sup>	3,74 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>	91,83 $\pm$ 0,15 <sup>ab</sup>	4,43 $\pm$ 0,14 <sup>ab</sup>	54,61 $\pm$ 0,70 <sup>c</sup>	
<b>DHxFV</b>	0,992 $\pm$ 0,008 <sup>c</sup>	2047,8 $\pm$ 29,7 <sup>b</sup>	3,90 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	91,75 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	4,34 $\pm$ 0,12 <sup>ab</sup>	52,69 $\pm$ 0,60 <sup>bd</sup>	
<b>DHxKR</b>	0,958 $\pm$ 0,011 <sup>b</sup>	1989,8 $\pm$ 39,9 <sup>b</sup>	3,85 $\pm$ 0,05 <sup>bc</sup>	91,88 $\pm$ 0,17 <sup>ab</sup>	4,27 $\pm$ 0,16 <sup>ab</sup>	52,06 $\pm$ 0,80 <sup>ab</sup>	
<b>DHxDH</b>	0,921 $\pm$ 0,009 <sup>a</sup>	1829,9 $\pm$ 33,7 <sup>a</sup>	3,65 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	92,18 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	4,17 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	50,48 $\pm$ 0,68 <sup>a</sup>	

Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ ).

Bei Betrachtung der Ergebnisse von BMD, BMC, BMPC und DXWT wird deutlich, dass reinrassige DH-Kälber signifikant die niedrigsten Werte erreichen. Beim Magerweichgewebsanteil erzielen sie signifikant höhere Prozentanteile als reinrassige Fleckvieh- und DHxFV-Kälber. Außerdem sinkt mit zunehmendem DH-Anteil sowohl das Körpergewicht als auch der Fettanteil. Reine Fleckviehkälber verfügen in der Tendenz über den höchsten Körperfettgehalt (%).

### 3.2 Effekt des Eltern-Genotyps auf die Körperzusammensetzung der Kälber

#### 3.3.1. Effekt des Vatergenotyps

Der Genotyp des Vaters hat signifikanten Einfluss auf BMD, BMC und DXWT (Abb.4, 5 und 6). Kälber von FV-Vätern erlangen bei allen Parametern höhere Werte als von DH-Vätern.

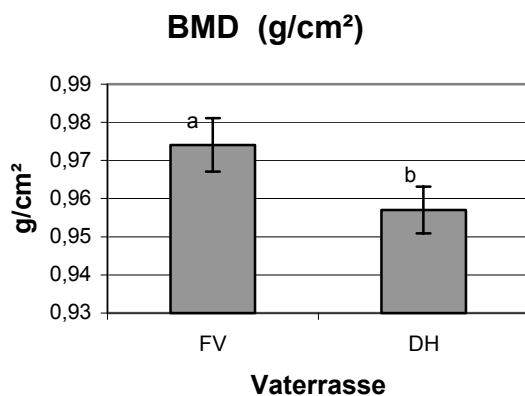


Abb. 4: Effekt der Vaterrasse auf Knochenmineraldichte; FV =Fleckvieh, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of sire genotype on bone mineral density; FV = German Fleckvieh, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

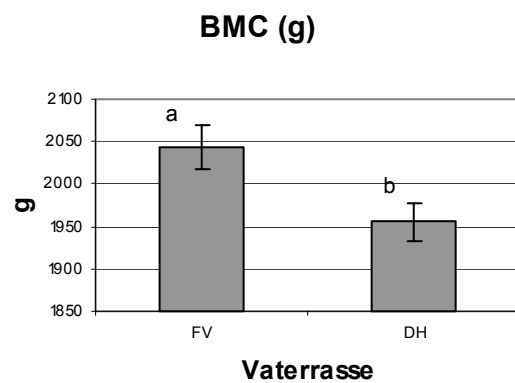


Abb. 5: Effekt der Vaterrasse auf die Knochenmineralgehalt; FV = Fleckvieh, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of sire genotype on bone mineral content; FV = German Fleckvieh, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

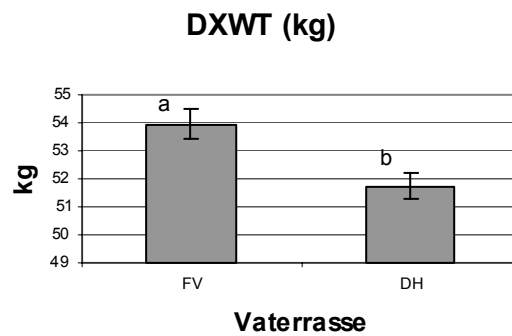


Abb. 6: Effekt der Vaterrasse auf das DXA-Gewicht; FV = Fleckvieh, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of sire genotype on DXA-weight; FV = German Fleckvieh, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

### 3.2.2 Effekt der Mutterrasse

Auch der Muttergenotyp hat einen signifikanten Einfluß auf BMD und BMC sowie auf BMPC (Abb. 7 – 9), wobei Kälber von DH-Müttern niedrigere Werte erreichen als von FV- bzw. Kreuzungsmüttern. Eine Tendenz im Einfluß der Mutterrasse (Abb. 10) ist bei MagerPC ( $p = 0,0574$ ) zu erkennen. Hier erzielen Kälber von DH-Müttern signifikant größere Prozentanteile als von FV-Müttern.

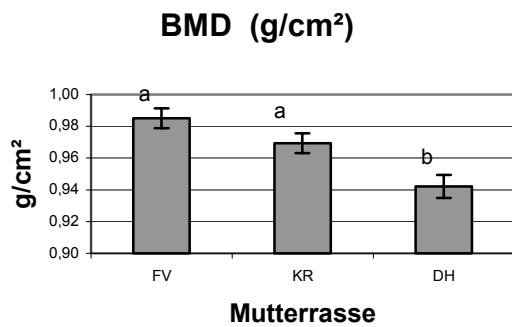


Abb. 7: Effekt der Mutterrasse auf die Knochenmineraldichte; FV = Fleckvieh, KR = Kreuzungstiere, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of mother genotype on bone mineral density; FV = German Fleckvieh, KR = crossbred animals, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

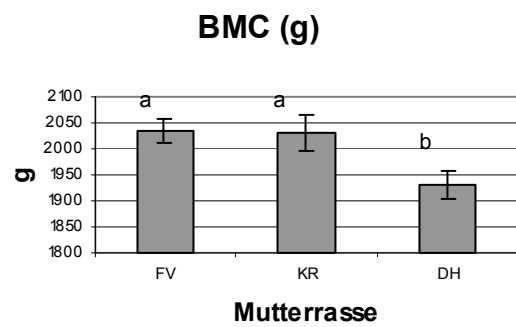


Abb. 8: Effekt der Mutterrasse auf den Knochenmineralgehalt; FV = Fleckvieh, KR = Kreuzungstiere, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of mother genotype on bone mineral content; FV = German Fleckvieh, KR = crossbred animals, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

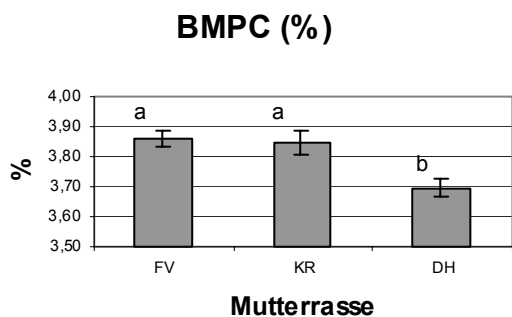


Abb. 9: Effekt der Mutterrasse auf den Knochenmineralanteil; FV = Fleckvieh, KR = Kreuzungstiere, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of mother genotype on bone mineral percentage; FV = German Fleckvieh, KR = crossbred animals, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

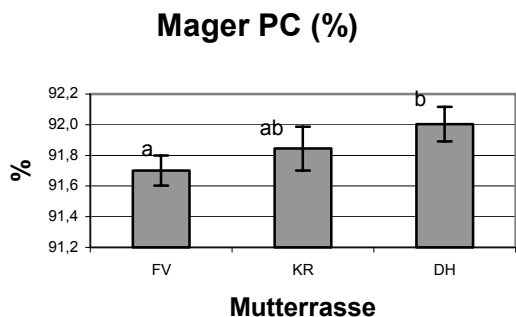


Abb. 10: Effekt der Mutterrasse auf den Magergewebsanteil; FV = Fleckvieh, KR = Kreuzungstiere, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of mother genotype on lean tissue percentage; FV = German Fleckvieh, KR = crossbred animals, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

- 3.3           Wachstum der Kälber (unterteilt in Abschnitte 1.-2. Scan und 2.-3. Scan)
- 3.3.1       Futtermittelverbrauch

Bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass hier nur die Kraftfuttermenge pro Tag betrachtet wird, da die Kälber unterschiedlich früh mit der Aufnahme zusätzlich zum Milchaustauscher beginnen. Vollmilch und Milchaustauscher werden rationiert und für Kälber des gleichen Alters in gleicher Menge gefüttert, so dass dadurch keine signifikanten Unterschiede im Verbrauch existieren. Die Grundfutteraufnahme wird nur als durchschnittlicher Wert für alle Kälber angegeben (Mais- und Grassilage = 0,37kg/Tag und Heu= 0,21kg/Tag) Dieses Ergebnis basiert auf der Erfassung der Verbrauchsdaten in einem Zeitraum von 17 Monaten, in denen täglich das Grundfutter in den Futterbarren eingewogen und am nächsten Morgen die Reste getrennt zurückgewogen wurden. Das Ergebnis der Subtraktion der Rückwaage von der Einwäge wurde durch die sich in der Bucht befindende Anzahl der Kälber geteilt.

Bei der Kraftfutteraufnahme pro Tag zwischen den ersten beiden Scans (5. – 26. Lebenstag) zeigen sich signifikante Unterschiede des Verbrauchs zwischen den Genotypen der Kälber (Abb. 11), wobei reinrassige Fleckviehkälber Kälber signifikant weniger Kraftfutter aufnehmen als FVxKR- und DHxKR-Kälber.

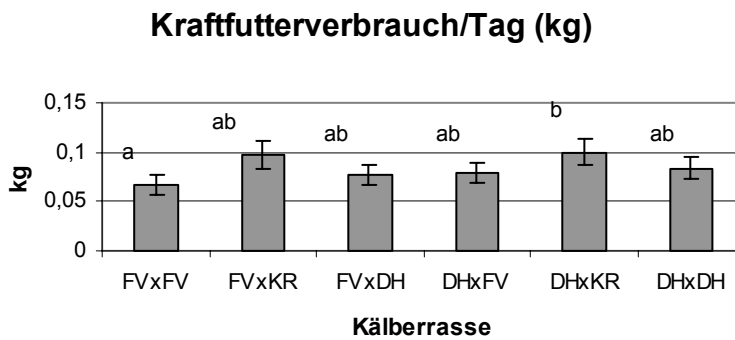


Abb.11: Effekt des Genotyps der Kälber auf den täglichen Krafftuttermittelverbrauch zwischen 1. und 2. Scan; FV = Fleckvieh, DH = Deutsche Holstein, KR = Kreuzungstiere; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of calf genotype on daily concentrate intake between scan 1 and 2; FV = German Fleckvieh, DH = German Holstein, KR = crossbred animals; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

Weiter beeinflusst die Rasse der Mutter in dieser Altersspanne tendenziell ( $p = 0,0703$ ) den Krafftuttermittelverbrauch. Abbildung 12 zeigt, dass Kälber von Kreuzungsmüttern signifikant mehr fressen als Kälber von FV-Müttern. Die Vatterasse hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Krafftuttermittelaufnahme.



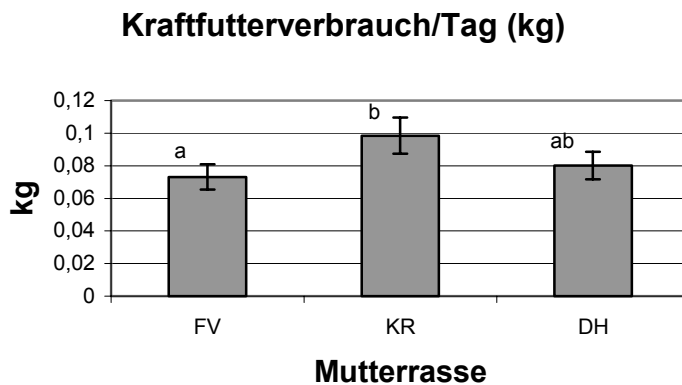


Abb. 12: Effekt der Mutterrasse auf den täglichen Kraftfutterverbrauch zwischen 1. und 2. Scan; FV = Fleckvieh, KR = Kreuzungstiere, DH = Deutsche Holstein; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of mother genotype on daily concentrates intake between scan 1 and 2; FV = German Fleckvieh, KR = crossbred animals, DH = German Holstein; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

Zwischen den letzten beiden Scans (27. – 48. Lebenstag) hat die Laktationsnummer einen signifikanten Einfluss auf die tägliche Kraftfutteraufnahme (Abb. 13). Kälber von Müttern der 3. Laktation nehmen signifikant weniger Kraftfutter auf als Kälber von Müttern der 1. oder 2. Laktation. Es existieren keine signifikanten Unterschiede in der Kraftfutteraufnahme/Tag zwischen den Kälbergentypen bzw. den Genotypen der Eltern.

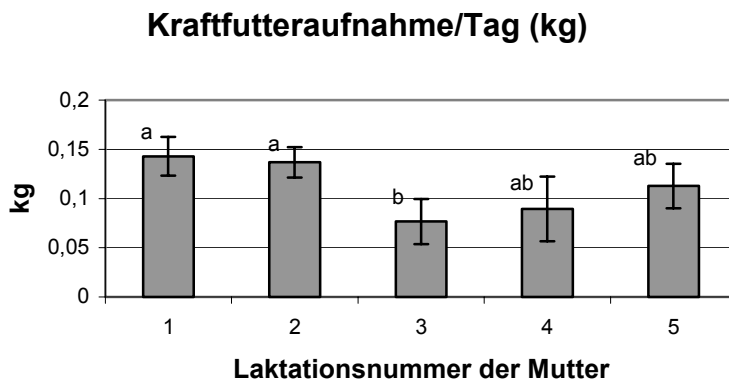


Abb. 13: Effekt der Laktationsnummer der Mutter auf den täglichen Kraftfutterverbrauch zwischen 2. und 3. Scan; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ );

Effect of mothers lactation number on daily concentrates intake between scan 2 and 3; Different superscripts show significant differences ( $p \leq 0,05$ )

### 3.3.2 Gewebe-Zunahmen (unterteilt in Abschnitte 1.-2. Scan und 2.-3. Scan)

Die täglichen Zunahmen zwischen Scan 1 und Scan 2 werden unterteilt in Fettgewebezunahme/Tag, Magerweichgewebezunahme/Tag, BMC-Zunahme/Tag und DXWT-Zunahme/Tag. Signifikanten Einfluß auf diese Parameter haben der Faktor Geburtstyp (s. Tab. 4) und die Laktationsnummer (s. Tab. 5). Dies gilt nicht für die Fettgewebezunahmen, bei denen das Geschlecht einen signifikanten Einfluß hat. Männliche Kälber nehmen tendenziell Fettgewebe ab ( $-10,45 \pm 5,67$ ), während weibliche Kälber tendenziell Fettgewebe ansetzen ( $6,70 \pm 5,74$ ).

Außerdem sind starke tendenzielle Unterschiede zwischen den Muttergenotypen bei den täglichen Fettgewebe-Zunahmen zu beobachten. Kälber von DH-Müttern nehmen innerhalb der ersten vier Lebenswochen Fettgewebe ( $-11,5 \pm 6,3$  g) ab, während Kälber von FV- ( $2,2 \pm 5,6$  g) und Kreuzungsmüttern ( $3,6 \pm 8,3$  g) zunehmen. Die Vatterrasse hat keinen Einfluss auf die täglichen Gewebe-Zunahmen (Tab. 6).

Tab. 4: Effekt des Geburtstyps auf die täglichen Gewebe-Zunahmen (in g) zwischen Scan 1 und Scan 2 (kleinste Quadrate Mittelwerte  $\pm$  Standardschätzfehler) - Effect of birth type on daily tissue gain (in g) between scan 1 and scan 2 (Least Squares Means  $\pm$  Standard Error of Estimation)

<b>Geburtstyp</b>	<b>Fettgewebe- Zunahme</b>	<b>Magerweich- gewebe- Zunahme</b>	<b>Knochenmineral- Zunahme</b>	<b>DXA-Gewicht- Zunahme</b>
<b>Einling</b>	-7,5 $\pm$ 4,0	301,9 $\pm$ 14,3 <sup>a</sup>	11,9 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>	306,3 $\pm$ 15,0 <sup>a</sup>
<b>Mehrling</b>	3,7 $\pm$ 8,4	404,1 $\pm$ 29,7 <sup>b</sup>	13,9 $\pm$ 1,0 <sup>b</sup>	421,8 $\pm$ 31,2 <sup>b</sup>

Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede =  $p \leq 0,05$  (Different superscripts mark significant differences =  $p \leq 0,05$ )

Tab. 5: Effekt der Laktationsnummer auf die täglichen Gewebe-Zunahmen (in g) zwischen Scan 1 und 2 (kleinste Quadrate Mittelwerte  $\pm$  Standardschätzfehler) - Effect of lactation number on daily tissue gain (in g) between scan 1 and scan 2 (Least Squares Means  $\pm$  Standard Error of Estimation)

<b>Laktati- onsnum- mer</b>	<b>Fettgewebe- Zunahme</b>	<b>Magerweich- gewebe- Zunahme</b>	<b>Knochenmineral- Zunahme</b>	<b>DXA-Gewicht- Zunahme</b>
<b>1</b>	-13,4 $\pm$ 7,4 <sup>a</sup>	381,1 $\pm$ 26,1 <sup>b</sup>	15,1 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>	382,9 $\pm$ 27,4 <sup>ab</sup>
<b>2</b>	3,1 $\pm$ 5,6 <sup>ab</sup>	347,7 $\pm$ 20,0 <sup>ab</sup>	13,1 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>	364,0 $\pm$ 21,0 <sup>abc</sup>
<b>3</b>	-4,0 $\pm$ 7,6 <sup>ab</sup>	342,7 $\pm$ 27,1 <sup>ab</sup>	12,8 $\pm$ 0,9 <sup>b</sup>	351,5 $\pm$ 28,4 <sup>bc</sup>
<b>4</b>	-4,9 $\pm$ 11,5 <sup>ab</sup>	282,8 $\pm$ 40,8 <sup>a</sup>	8,6 $\pm$ 1,4 <sup>c</sup>	286,5 $\pm$ 42,8 <sup>c</sup>
<b>5</b>	9,7 $\pm$ 9,0 <sup>b</sup>	411,0 $\pm$ 32,1 <sup>b</sup>	14,8 $\pm$ 1,1 <sup>ab</sup>	435,4 $\pm$ 33,7 <sup>a</sup>

1 bis 5 = Laktationsnummer; unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede =  $p \leq 0,05$  (1 to 5 = lactation numbers; different superscripts mark significant differences =  $p \leq 0,05$ )

Tab. 6: Effekt der Vatterrasse auf die täglichen Gewebe-Zunahmen (in g) zwischen Scan 1 und Scan 2 (kleinste Quadrate Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung) - Effect of sire genotype on daily tissue gain (in g) between scan 1 and scan 2 (Least Squares Means  $\pm$  Standard Error of Estimation)

<b>Vatterrasse</b>	<b>Fettgewebe-Zunahme</b>	<b>Magerweichgewebe-Zunahme</b>	<b>Knochenmineral-Zunahme</b>	<b>DXA-Gewicht-Zunahme</b>
<b>DH-Vater</b>	-2,6 $\pm$ 5,7	370,3 $\pm$ 20,1	13,2 $\pm$ 0,7	380,7 $\pm$ 21,1
<b>FV-Vater</b>	-1,0 $\pm$ 6,0	335,8 $\pm$ 21,3	12,6 $\pm$ 0,7	347,4 $\pm$ 22,4

**DH = Deutsche Holstein, FV = Fleckvieh (DH = German Holstein, FV = German Fleckvieh)**

Zwischen Scan 2 und 3 herrscht ein signifikanter Einfluss der Laktationsklasse auf die Fettgewebe-Zunahmen/Tag (Tab. 7) und die Vatterrasse beeinflusst signifikant die Magerweichgewebe- und DXWT-Zunahmen (Tab. 8), wobei Kälber von FV-Vätern die höheren Zunahmen erreichen.

Tab. 7: Effekt der Laktationsnummer auf die täglichen Gewebe-Zunahmen (in g) zwischen Scan 2 und 3 (kleinste Quadrate Mittelwerte  $\pm$  Standardschätzfehler) - Effect of lactation number on daily tissue gain (in g) between scan 2 and 3 (Least Squares Means  $\pm$  Standard Error of Estimation)

<b>Laktationsnummer</b>	<b>Fettgewebe-Zunahme</b>	<b>Magerweichegewebe-Zunahme</b>	<b>Knochenmineral-Zunahme</b>	<b>DXA-Gewicht-Zunahme</b>
<b>1</b>	42,4 $\pm$ 9,5 <sup>a</sup>	425,0 $\pm$ 35,9	12,3 $\pm$ 1,1	479,8 $\pm$ 38,3
<b>2</b>	12,0 $\pm$ 7,3 <sup>b</sup>	435,0 $\pm$ 27,6	11,9 $\pm$ 0,9	458,9 $\pm$ 29,5
<b>3</b>	23,4 $\pm$ 11,1 <sup>ab</sup>	422,6 $\pm$ 42,1	11,1 $\pm$ 1,3	457,1 $\pm$ 45,0
<b>4</b>	18,3 $\pm$ 16,0 <sup>ab</sup>	311,3 $\pm$ 60,4	10,4 $\pm$ 1,9	340,0 $\pm$ 64,5
<b>5</b>	-0,4 $\pm$ 11,0 <sup>b</sup>	360,5 $\pm$ 41,6	9,7 $\pm$ 1,3	369,8 $\pm$ 44,4

1 bis 5 = Laktationsnummer; unterschiedliche hochgestellte Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede =  $p \leq 0,05$  (1-5 = lactation numbers; different superscripts mark significant differences =  $p \leq 0,05$ )

Tab. 8: Effekt der Vatterasse auf die täglichen Gewebezunahmen (in g) zwischen Scan 2 und Scan 3 (kleinste Quadrate Mittelwerte  $\pm$  Standardschätzfehler) - Effect of sire genotype on daily tissue gain (in g) between scan 2 and scan 3 (Least Squares Means  $\pm$  Standard Error of Estimation)

<b>Vatterasse</b>	<b>Fettgewebe-Zunahme</b>	<b>Magerweichegewebe-Zunahme</b>	<b>Knochenmineral-Zunahme</b>	<b>DXA-Gewicht-Zunahme</b>
<b>DH-Vater</b>	16,5 $\pm$ 7,8	353,7 $\pm$ 29,4 <sup>a</sup>	10,6 $\pm$ 0,9	380,7 $\pm$ 31,3 <sup>a</sup>
<b>FV-Vater</b>	21,8 $\pm$ 8,2	428,1 $\pm$ 31,0 <sup>b</sup>	11,6 $\pm$ 1,0	461,5 $\pm$ 33,1 <sup>b</sup>

DH = Deutsche Holstein, FV = Fleckvieh; Unterschiedliche hochgestellte Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede =  $p \leq 0,05$ ; (DH = German Holstein, FV = German Fleckvieh; Different superscripts mark significant differences =  $p \leq 0,05$ )

## 3.4 Vergleich von Scan Modus "normal" zu Scan Modus "Pediatrie groß"

Es konnte eine sehr gute Korrelation zwischen den beiden Scan Modi für die Parameter BMD, BMC, BMPC, Magerweichgewebe, Fettgewebe und DXWT festgestellt werden (Tab. 11). Eine niedrigere Korrelation liegt für die prozentualen Werte von Magerweich- und Fettgewebe sowie den R-Werten vor. Offensichtlich beeinflusst der Scan-Modus (Pixelgröße und Scangeschwindigkeit) die gemessene Weichgewebeschwächung der Röntgenstrahlung stärker als angenommen. Für die Vergleichbarkeit von DXA-Messungen muß immer derselbe Scan-Modus verwendet werden. Abb. 14 bis 16 veranschaulichen die Korrelation bei Knochenmineralgehalt, Knochenmineraldichte und R-Wert.

Tab. 11: Beziehungen zwischen den Messergebnissen der Scan Modi "normal" und "Pediatrie groß"  $R^2$  (R-Square) und Standard Error of Estimation (SEE) für o.g. Parameter – Relations between results of measurements using Scan Modes "normal" and "Pediatric large"  $R^2$  (R-Square) and Standard Error of Estimation (SEE) and selected parameters)

Genauigkeit	Knochenmineraldichte	Knochenmineralgehalt	Knochenmineralanteil	Magerweichgewebe	Fettgewebe
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9407	0,9661	0,9112	0,9870	0,8181
<b>SEE</b>	0,0159	56,8690	0,0964	947,610	161,381

Genauigkeit	Magerweichgewebeanteil	Fettgewebeanteil	R-Wert	DXA-Gewicht
<b>R<sup>2</sup></b>	0,3906	0,4867	0,4744	0,9887
<b>SEE</b>	0,3246	0,2020	0,0019	0,9459

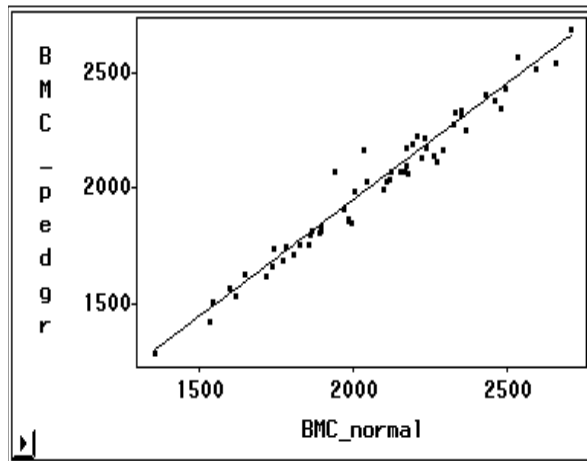


Abb.14: Korrelation des Knochenmineralgehaltes von Scan Modus normal und Scan Modus Pediatric groß ( $r=0,98$ ) - Correlation of bone mineral content of scan mode normal and scan mode pediatric large ( $r=0,98$ )

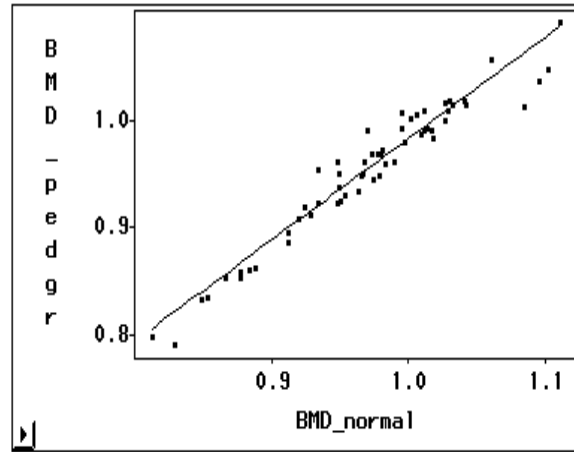


Abb.15: Korrelation der Knochenmineraldichte von Scan Modus normal und Scan Modus Pediatric groß ( $r=0,97$ ) - Correlation of bone mineral density of scan mode normal and scan mode pediatric large ( $r=0,97$ )

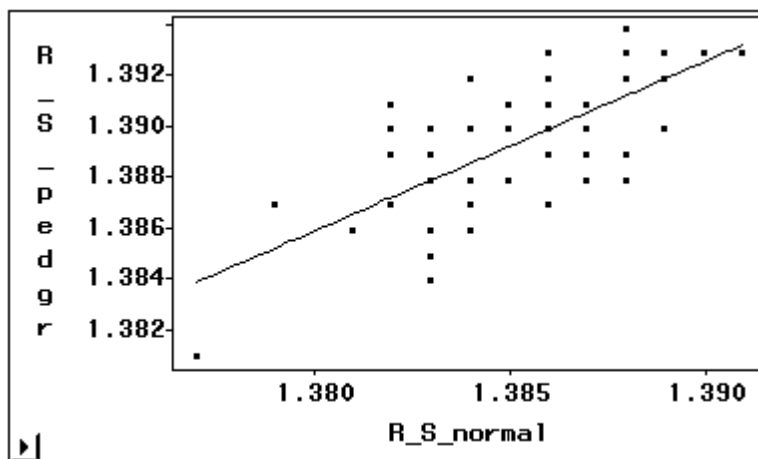


Abb.16: Korrelation der R-Werte von Scan Modus normal und Scan Modus Pediatric groß ( $r=0,69$ ) - Correlation of R-Value of scan mode normal and scan mode pediatric large ( $r=0,69$ )

#### 4. Diskussion

Die Unterschiede der einzelnen Genotypen der Kälber bezüglich ihrer Körperzusammensetzung sind signifikant. Erwartungsgemäß sind reinrassige DH-Kälber, was Knochenmineraldichte, Knochenmineralgehalt, Knochenmineralanteil, Fettgewebeanteil und das Gewicht betrifft, gegenüber den anderen Probanden im Nachteil. Kreuzungstiere erreichen dabei die höchsten Werte, wobei der DH-Anteil unterschiedlich hoch ist. Ein Heterosiseffekt ist hier anzunehmen, da Heterosis eine Überlegenheit der Kreuzungsnachkommen gegenüber ihren Reinzucht-Eltern darstellt. Heterosis kann für jede Eigenschaft wie folgt berechnet werden:  $\text{Heterosis \%} = [(\text{Durchschnitt der } F_1\text{-Kreuzung} - \text{Durchschnitt der Eltern}) / \text{Durchschnitt der Eltern}] * 100$  (KIELER, 2002). Die Heterosis für o.g. Messwerte liegt zwischen 3 % und 5,89 %. Bei der Knochenmineraldichte ist die Wahl des Vater- und Muttergenotyps entscheidend. In diesem Parameter erreichen Kälber mit DH-Vätern und FV-Müttern die höchsten Werte, aber nicht bei der reziproken Kreuzung, wobei aus der statistischen Analyse hervorgeht, dass der Muttergenotyp den größeren Effekt hat (F-Wert: 14,2 Muttergenotyp:  $p \leq 0,05$  vs. 5,8 Vatergenotyp:  $p \leq 0,05$ ). Beim Magerweichgewebsanteil erreichen reinrassige FV-Kälber den geringsten Wert, während reinrassige DH-Tiere alle anderen Genotypen übertreffen. ARRAYET et al. kam 2002 bei seiner Arbeit über das Wachstum von Holsteins Kälbern bezüglich des Körpergewichts von DH-Kälbern in dieser Altersklasse (53,05 kg mit 30 Tagen) zu ähnlichen Ergebnissen wie in dieser Arbeit aufgeführt (50,48 kg mit 28 Tagen). Die Ergebnisse des Fettgewebsanteils dieser Arbeit stimmen nicht mit denen von BASCOM et al. (2002) überein, der Schlachtkörperhälften von Jersey-Bullenkälbern mit einem Hologic 4500A DXA Scanner untersucht hat und bei fünf Wochen alten Tieren für den Fettgewebsanteil Werte zwischen 12,79 % und 20,85 % erhielt. BUCKLEY et al. (1990) untersuchte die Körperzusammensetzung und Gewebeverteilung von Fleischjungrindern dreier Rassen (Hereford, Charolais, Simmental) im Alter von Geburt bis 14 Monate. Die Lebendgewichte der Simmentalkälber, die sehr gut mit Fleckviehkälbern vergleichbar sind, lagen in seiner Arbeit bei 38,5 kg für zwei Tage alte Kälber und bei 102,5 kg für drei Monate alte Tiere. Für zwei Tage alte Simmentalkälber bekam er nach chemischer Analyse Fettanteile von 2 %, bei drei Monate alten Tieren 7 %



Fettgewebeanteil. Dieses deckt sich mit den eigenen Ergebnissen und unterstreicht die Notwendigkeit der durchgeführten Korrektur der Werte anhand der R-Werte (s. Material und Methode 2.5.).

Großen Einfluss auf die Körperzusammensetzung haben die Genotypen der Elterntiere. Betrachtet man allein den Effekt der Vatterasse bei den Parametern Knochenmineraldichte und –gehalt, sind Kälber von FV-Vätern den Kälbern von DH-Vätern in beiden Messergebnissen überlegen. Diese Genotypenunterschiede treffen auch bei den Muttertieren zu, wenn man isoliert die Knochenmineraldichte betrachtet. Bei Knochenmineralgehalt und Knochenmineralanteil erreichen die Kälber von Kreuzungsmüttern die höchsten Werte. Was den Magergewebsanteil betrifft, sind es Kälber von DH-Müttern, die den höchsten, und Kälber von FV-Müttern, die den niedrigsten Prozentanteil aufweisen.

Der tägliche Verbrauch von Kraftfutter im ersten Untersuchungsabschnitt unterliegt ebenso einem genetischen Einfluss der Muttertiere, wobei hier die Kälber von Kreuzungsmüttern am meisten Kraftfutter aufnehmen ( $98,4 \pm 11,0$  g/Tag) und Kälber von FV-Müttern deutlich weniger fressen ( $73,1 \pm 7,7$  g/Tag). Ähnliches liegt beim Vergleich der Kälbergentypen für die tägliche Kraftfutteraufnahme vor. Reinrassige FV-Kälber nehmen im Vergleich zu den übrigen Genotypen am wenigsten Kraftfutter pro Tag auf ( $66,9 \pm 9,2$  g vs.  $87,3 \pm 11,9$  g), was eventuell mit ihren im Vergleich zu den übrigen Tieren hohen Energiereserven in diesem Alter im Zusammenhang steht oder mit einer erhöhten Grundfutteraufnahme zu erklären wäre. Vergleichsliteratur zu dem Bereich der Kraftfutter- bzw. Heuaufnahme und daraus resultierende Zunahmen in der Altersklasse bis 50 Tage kann nicht angegeben werden, da Arbeiten mit so jungen Kälbern entweder ohne Heu und Kraftfutter (DIAZ et al. 2001, BLOME et al. 2003) durchgeführt wurden oder beides ad libitum zur Verfügung stand (JENSEN et al. 2004). Allerdings muß beachtet werden, dass die Kraftfutteraufnahme/Tag in diesem Alter sehr niedrig war (durchschnittlich 85 g/Tag für alle Kälber).

Im zweiten Untersuchungsabschnitt hat die Laktationsnummer der Mutter einen deutlichen Einfluss auf die Aufnahme von Kraftfutter. Der Kraftfutterverbrauch liegt bei Kälbern aus Kühen der ersten beiden Laktationen hoch, ist bei Tieren aus Drittlaktierenden am niedrigsten und steigt dann für die Laktationsnummern 4 und 5 wieder leicht an. Dieses steht nicht in linearem Zusammenhang mit den täglichen Ge-

wichtszunahmen. Zwar haben Kälber von Erstlaktierenden die höchsten täglichen Zunahmen bezüglich Fettgewebe, Knochenmineralgehalt und DXA-Gewicht, doch es sind Kälber aus Kühen der vierten oder fünften Laktation, die die geringsten Zunahmen/Tag aufweisen.

Im ersten Untersuchungsabschnitt liegen die Unterschiede in den Zunahmen abhängig von der Laktationsnummer anders. Kälber aus Jungkühen zeigen die besten Knochenmineral-Zunahmen, aber sie bauen in der Tendenz Fettgewebe ab. Eine Erklärung für den tendenziellen Fettgewebsverlust ist schwierig zu geben, da bisher keine Arbeiten zu den Fettgewebszunahmen bei neugeborenen Kälbern existieren und sich damit keine Vergleichsmöglichkeit mit Ergebnissen aus anderen Arbeiten bieten. Möglich wäre auch eine unterschiedliche Hydratisierung des Weichgewebes bei den Probanden. PIETROBELLI et al. (1998) ermittelten in ihrer Studie, dass die unterschiedliche Hydratisierung von Weichgewebe bei DXA-Messungen zu Ungenauigkeiten bei der Fettgewebsbestimmung führt. Sie geben den Fehler bei der Fettgewebemessung durch DXA von  $< 1\%$  bei Hydratationsänderungen von 1 - 5% an. Während des Wachstums ist die Hydratisierung des Gewebes mit dem Alter abnehmend, so dass damit eventuell die statistisch ermittelte Fettgewebsabnahme erklärbar wäre. Ob aber die Laktationsnummer, der Genotyp der Kälber oder der Genotyp der Elterntiere darauf einen Einfluss haben, kann nicht geklärt werden. Der Grund für die Knochenmineral-Zunahmen liegt möglicherweise in der abweichenden Kolostrumqualität von Kühen unterschiedlicher Laktationsnummern, die in diesem Alter hinsichtlich der Versorgung mit Ca und P, die für das Knochenwachstum wichtig sind, eine bedeutende Rolle spielt. KUME et al. (1993) stellen in ihrer Arbeit über den Effekt der Parität auf kolostrale Mineral-Konzentrationen bei Holsteins-Kühen und den Wert von Kolostrum als Mineralstoffquelle für neugeborene Kälber fest, dass Kolostrum die Hauptquelle für Mineralstoffe für neugeborene Kälber nach der Geburt darstellt. Weiter fanden sie höhere Ca-Konzentrationen im Plasma bei Kälbern von Jungkühen als bei Kälbern von älteren Müttern. Tendenziell zeigen Kälber aus Kühen der dritten und fünften Laktation am ehesten eine Zunahme von Fettgewebe, wobei diese insgesamt verschwindend gering ist. Diese nehmen täglich das Meiste an Magerweichgewebe und Gesamtmasse zu. Ein weiterer interessanter Aspekt bei den täglichen Zunahmen liegt in dem Einfluss der Vatterrasse. Während zwischen

den ersten beiden Scans Kälber von DH-Vätern die höheren Zunahmen erzielen, dreht sich dieses Verhältnis beim zweiten Untersuchungsabschnitt zugunsten der FV-Väter um. Während Tiere mit DH-Vätern bei Magerweichgewebe- und DXWT-Zunahmen in beiden Zeiträumen relativ konstante Werte aufweisen, steigern die Kälber aus FV-Vätern ihre Zunahmen bei diesen Parametern um nahezu 100 g täglich im zweiten Untersuchungsabschnitt (s Tab. 6 und Tab. 8).

Betrachtet man die täglichen Zunahmen von Mehrlingen im Vergleich zu Einlingen, so wird offensichtlich, dass diese Tiere sofort anfangen, ihre geringeren Ausgangswerte mit höheren Tageszunahmen (421,8 g vs. 306,3 g) zu kompensieren. Dies gilt vor allem für den ersten Untersuchungsabschnitt. Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang zu Ergebnissen von ECHTERNKAMP et al. (2002), der in seiner Arbeit Reproduktions-, Wachstums-, Mast- und Schlachtkörpereigenschaften von Zwillingen und Einlingen verschiedener Rassen vergleicht. In seiner Arbeit haben männliche Zwillingssäugekälber (1,01 kg/Tag) weniger tägliche Zunahmen als Kälber aus Einlingsgeburten (1,08 kg/Tag) in einem Zeitraum von Geburt bis 172 Tage. Übereinstimmend sind die Ergebnisse zum Gewicht: Zwillingssäugekälber wiegen von Geburt an weniger (36,8 kg Geburtsgewicht bei Echternkamp und 39,4 kg eigene Arbeit) als Kälber aus Einlingsgeburten (43,4 kg Geburtsgewicht bei ECHTERNKAMP und 49,78 kg eigene Arbeit).

Insgesamt lässt sich die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie als ein geeignetes Verfahren beurteilen, die Körperzusammensetzung und das Wachstum von Kälbern zu untersuchen.

## Literatur

Arrayet, J.L.; Oberbauer, A.M.; Famula, T.R.; Garnett, I.; Oltjen, J.W.; Imhoof, J.; Kehrli, M.E. jr.; Graham, T.W.:

Growth of Holstein calves from birth to 90 days: The influence of dietary zinc and BLAD status. J Anim Sci., 80 (2002), 545-552

Bascom, S.S.; Huffard, C.S.; Nickols- Richardson, S.M.; Hovingh, E.P.; James, R.E.; Mc Gillard, M.L.:

Analysis of body composition of Jersey bull calves fed varying levels of fat and protein with dual energy X-ray absorptiometry. J Anim Sci., 80 (2002), 336

Bertin, E. ; Ruiz, J.C. ; Mourot, J. ; Peiniau, P. ; Portha, B. :

Evaluation of dual-energy X-Ray absorptiometry for bodycomposition assessment in rats. J Nutr., 128 (1998), 1550-1554

Blome, R.M.; Drackley, J.K.; McKeith, F.K.; Hutjens, M.F.; McCoy, G.C.:

Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. J Anim Sci., 81 (2003), 1641-1655

Buckley, B.A.; Baker, J.F.; Dickerson, G.E.; Jenkins, T.G.:

Body composition and tissue distribution from birth to 14 months for three biological types of beef heifers. J Anim Sci., 68 (1990), 3109-3123

Diaz, M.C.; Van Amburgh, M.E.; Smith, J.M.; Kelsey, J.M.; Hutten, E.L.:

Composition of Growth of Holstein Calves Fed Milk Replacer from Birth to 105-Kilogramm Body Weight. J Dairy Sci., 84 (2001), 830-842

Echtenkamp, S.E.; Gregory, K.E.:

Reproductive, growth, feedlot, and carcass traits of twin vs single births in cattle. J Anim Sci., 80 (2002), E64-E73

Ellis, K.:

Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies. J. Nutr., 131 (2001), 1589S-1595S

Fink, C.; Cooper, H.J.; Huebner, J.L.; Guilak, F.; Kraus, V.B.:

Precision and accuracy of a transportable dual-energy X-ray absorptiometry unit for bone mineral measurements in guinea pigs. Calcif Tissue Int., 70 (2002), 164-169

Gala Paniagua, J.; Diaz-Curiel, M.; de la Piedra Gordo, C.; Castilla Re, C.; Torralbo Garcia, M.:

Bone mass assessment in rats by dual-energy X-ray absorptiometry. Br J Radiol., 71 (1998), 754-758

Hammami, M.; Koo, M.W.; Koo, W.W.; Thomas, R.T.; Rakhman, D.:

Regional bone mass measurement from whole-body dual-energy X-ray absorptiometry scan. J Clin Densitom., 4 (2001), 131-136

Jensen, M.B.:

Computer-Controlled Milk Feeding of Dairy Calves: Effects of Number of Calves per Feeder and Number of Milk Portions on Use of Feeder and Social Behaviour. J Dairy Sci., 87 (2004), 3428-3438

Kieler, K.C.:

The Effects of Crossbreeding on Dairy Cattle Reproduction. Thesis of The Graduate Faculty, University of Wisconsin-Platteville, (2003)

Koo, W.W.; Walters, J.C.; Hockman, E.M.:

Body Composition in Human Infants at Birth and Postnatally. J. Nutr., 130 (2000), 2188-2194

Koo, W.W.; Hockman, E.M.; Hammami, M.:

Dual energy X-ray absorptiometry measurements in small subjects: conditions affecting clinical measurements. J Am Coll Nutr., 23 (2004), 212-219

Kume, S.; Tanabe, S.;

Effect of Parity on Colostral Mineral Concentrations of Holstein Cows and Value of Colostrum as a Mineral Source for Newborn Calves. J Dairy Sci., 76 (1993), 1654-1660

Mitchell, A.D.; Rosebrough, R.W.; Conway, J.M.:

Body composition analysis of chickens by dual energy x-ray absorptiometry. Poult Sci., 76 (1997), 1746-1752

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.:

Dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) analysis of growth and body composition of pigs of different ryanodine receptor genotypes. Arch. Tierz., 40 (1997), 11-21

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.; Conway, J.M.:

Body composition analysis of small pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. J Anim Sci., 76 (1998), 2392-2398

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.; Pursel, V.G.:

Total body and regional measurements of bone mineral content and bone mineral density in pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. J Anim Sci., 79 (2001), 2594-2604

Mitchell, A.D. ; Scholz, A.M. ; Pursel, V. :

Prediction of the in vivo Body composition of pigs based on crosssectional region analysis of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans. Arch. Tierz., 45 (2002), 535-545

Nüske, S. ; Scholz, A.M. ; Förster, M. :

Studies on the Growth of the Claws in New Born Calves using Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA). Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Lameness in Ruminants, Orlando, USA, (2002), 199-201

Picaud, J.C.; Nyamugabo, K.; Braillon, P.; Lapillonne, A.; Claris, O.; Delmas, P.; Meunier, P.; Salle, B.; Rigo, J.:

Dual-energy X-ray absorptiometry in small subjects: influence of dual-energy X-ray equipment on assessment of mineralization and body composition in newborn piglets. *Pediatr Res.*, 46 (1999), 772-777

Pietrobelli, A.; Formica, C.; Wang, Z.; Heymsfield, S.B.:

Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *American Physiological Society*, (1996), E941-E951

Pietrobelli, A.; Wang, Z.; Formica, C.; Heymsfield, S.B.:

Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *American Physiological Society*, (1998), E808-E816

Pouilles, J.M.; Collard, P.; Tremollieres, F.; Frayssinet, P.; Railhac, J.J.; Cahuzac, J.P.; Autefage, A.; Ribot, C.:

Accuracy and precision of in vivo bone mineral measurement in sheep using dual-energy X-ray absorptiometry., *Calcif Tissue Int.*, 66 (2000), 70-73

SAS/STAT®

User's Guide Volume 2, GLM-Varcomp, Version 8.2 TS Level 02M0, by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

Scholz, A.M.:

In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. Habilitationsschrift der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, (2002), <http://epub.ub.uni-muechen.de/archive/00000418/>

Scholz, A.M.; Soffner, P.; Littmann, E.; Peschke, W.:

Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30-39 kg) anhand der EU-Referenzerlegung., *Züchtungskunde*, 74 (2002), 376-391

Speakman, J.R.; Booles, D.; Butterwick, R.:

Validation of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. *Int J Obes Relat Metab Disord.*, 25 (2001), 439-447

Swennen, Q.; Janssens, G.P.; Geers, R.; Decuypere, E.; Buyse, J.:

Validation of dual-energy x-ray absorptiometry for determining in vivo body composition of chickens. Poult Sci., 83 (2004), 1348-1357

Tamada, A.; Emura, S.; Hayakawa, D.; Chen, H.; Jamali, M.; Yamahira Yoshida-Terasawa, K.; Isono, H.; Shoumura, S.:

Effect of immobilization on the ultrastructure of the golden hamster parathyroid gland. Okajimas Folia Anat JPN., 74 (1998), 259-269

Turner, A.S.; Mallinckrodt, C.H.; Alvis, M.R.; Bryant, H.U.:

Dual-energy X-ray absorptiometry in sheep: experiences with in vivo and ex vivo studies. Bone, 17 (1995), 381-387

Eingegangen: 21.12.2004

Akzeptiert: 20.6.2005

Anschriften der Verfasser:

JULIA HAMPE, Dr. STEFAN NÜSKE, Priv.-Doz. Dr. ARMIN M. SCHOLZ \*

Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
Hubertusstr. 12

D-85764 OBERSCHLEIßHEIM

Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. MARTIN FÖRSTER

Institut für Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre der Ludwig-Maximilians-Universität

Veterinärstr.13

D-80805 MÜNCHEN

\*Autor für Korrespondenz

E-mail: Armin.Scholz@lvg.vetmed.uni-muenchen.de

## 4. Diskussion

### 4.1. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie bei Kälbern

Bisher gibt es lediglich eine Veröffentlichung von Bascom et al. (2002), die sich mit der Anwendung von DXA bei Kälbern beschäftigt. Die Autoren untersuchten Schlachtkörperhälften von fünf Wochen alten Jersey-Bullen, deren Futtermittel (Milchaustauscher bzw. Vollmich) verschiedene Fett- und Proteingehalte aufwiesen. Die Ergebnisse von Bascom (2002) sind sicherlich nicht vorbehaltlos mit den Ergebnissen dieser vorliegenden Arbeit zu vergleichen. Zum einen verwendeten Bascom et al. (2002) ein DXA-Gerät der Fa. Hologic 4500A, während hier ein Scanner DPX IQ von GE Lunar benutzt wurde. Der zweite Unterschied liegt in der Rasse der Probanden, was auf Grund der eigenen Untersuchungen Differenzen erwarten läßt. Zuletzt muß noch auf das unterschiedliche Probenmaterial verwiesen werden: Bei der Untersuchung von Schlachthälften werden ausschließlich Muskulatur, Bindegewebe und Knochen ohne Kopf und distalem Gliedmaßenbereich betrachtet, während bei in vivo-Analysen der vollständige Körper einschließlich Haut, subkutanem Fettgewebe und sämtliche innere Organe mit den sich im Verdauungsapparat befindlichen Futterresten in die Betrachtung mit einbezogen werden. Beim Vergleich der prozentualen Fettgewebsanteile beider Arbeiten fällt eine deutliche Abweichung der Ergebnisse voneinander auf. Bascom et al. (2002) haben bei ihren Probanden Werte zwischen 12,79% und 20,85% ermittelt, während in der vorliegenden Arbeit der Fettgewebeannteil zwischen 4,17% und 4,53% berechnet wurde. Anhand der R-Werte konnte abgeleitet werden, dass es durchaus Kälber gibt, deren Fettgewebsanteil unter 3,8% liegt. Ähnliches beobachteten Mitchell et al. (1998a) bei Schweinen zwischen 5 und 97 kg. Sie untermauerten ihre Vermutung, dass das DXA-Gerät diese geringen Fettanteile nicht angibt, mit Ergebnissen durch chemische Analyse dieser Tiere.

Da für Kälber sonst keine weiteren DXA Arbeiten existieren, sind die Ergebnisse nur anhand von Studien diskutierbar, die andere Untersuchungsmethoden zur Grundlage haben.



## 4.2. Körperzusammensetzung von reinrassigen Kälbern

Bei der Untersuchung der Körperzusammensetzung wurden die Parameter Knochenmineraldichte (BMD in g/cm<sup>2</sup>), Knochenmineralgehalt (BMC in g), Knochenmineralanteil (BMPC in %), Magerweichgewebemasse (Mager in g), Fettgewebemasse (in g), und deren prozentualen Anteile (MagerPC in % und FettPC in %) am DXA-Gewicht (DXWT in kg) betrachtet. Die Unterschiede zwischen den Genotypen der Kälber (Deutsche Holstein – DH, Deutsches Fleckvieh – FV, und Kreuzungstiere) waren signifikant. Bezüglich BMD, BMC, BMPC, FettPC und DXWT wurden bei reinrassigen DH Kälbern die niedrigsten Werte ermittelt.

Diaz et al. (2001) untersuchte das Wachstum von Holsteinkälbern von Geburt bis 105 kg. Eine Gruppe, die am Tag der Geburt geschlachtet wurden, diente als Referenz. Es folgte eine Unterteilung in drei Gewichtsgruppen von 65 kg, 85 kg und 105 kg, die bei Erreichen des jeweiligen Gewichtes geschlachtet und untersucht wurden. Die Tiere der Referenzuntersuchung wiesen keine extrem niedrigen Fettanteile auf (4,7%). Die Ergebnisse von Diaz et al. (2001) sind mit den eigenen Untersuchungen nur eingeschränkt zu vergleichen, da das Alter der Tiere bis zum Erlangen des Schlachtgewichtes abhängig von der Zusammensetzung des verfütterten Milchaustauschers stark variiert (24 – 40 Tage). Zudem ist keiner der von Diaz et al. (2001) verfütterten Milchaustauscher mit dem vergleichbar, der innerhalb der eigenen Untersuchung verwendet wurde. Vor allem der Gehalt an Protein in den Futtermitteln unterscheidet sich deutlich: Bei Diaz et al. (2001) liegt der Gehalt zwischen 29,48 und 31,2 %, während im eigenen Versuch Milchaustauscher mit 22,5 % Protein angeboten wurde. Darin liegt sicherlich eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse. Diaz ermittelte folgende Werte:

- Fettanteil: 5,8 - 7,8 %
- Asche: 3,7 – 3,9 %
- Wassergehalt: 67,3 – 68,6 %
- Proteinanteil: 21,0 – 21,7 %

Diesen stehen die eigenen Ergebnisse für FettPC 4,17%, MagerPC 92,18% und BMPC 3,65% bei reinrassigen Deutsche Holstein Kälbern entgegen (s. Publikation Tab. 3).

Arrayet et al. (2002) untersuchten das Wachstum von Kälbern zwischen Geburt und 90igstem Lebenstag unter Berücksichtigung des Zinkgehaltes im Futter und dem BLAD-Status (Bovine Leukozyten Adhäsions-Defizienz). Sie führten anthropometrische Messungen von Körpergewicht, Körperlänge, Körperhöhe und einigen anderen Parametern bei Holstein Kälbern durch. Außer dem Waagengewicht lassen sich die Ergebnisse nicht mit denen der vorliegenden Arbeit vergleichen. Das Gewicht differiert in den beiden Arbeiten geringfügig. Arrayet et al. (2002) ermittelten bei 30ig Tage alten Kälbern eine durchschnittliche Körpermasse von 54,1 kg, während die eigenen Probanden im Alter von 28 Tagen durchschnittlich 50,5 kg wogen. Eine Möglichkeit der Erklärung liegt in der Fütterung. Arrayet et al. (2002) gehen nicht näher auf verwendeten Milchaustauscher bzw. die Menge des aufgenommenen Kraftfutters ein.

Den Effekt von steigender Energie- und Proteinaufnahme auf das Körperwachstum und die Schlachtkörperzusammensetzung von weiblichen Kälbern studierten Brown et al. (2005). Sie ermittelten bei 8-Wochen alten Tieren der Rasse Holsteins durch chemische Analyse der Schlachthälften der eigenen Arbeit sehr ähnliche Ergebnisse für Fett (Brown: 4,4% vs. 4,17% eigene Arbeit), Asche (4,4% vs. 3,65%) und Protein und Wasser (gesamt: 91,2% vs. 92,18% Magerweichgewebeanteil). Diese Ergebnisse berechneten Brown et al. für die Versuchsgruppe, deren Fütterung aus Standard-Milchaustauscher mit 21,3% Protein und 21,3% Fett bestand. Somit ist neben der Altersklasse auch die Fütterung vergleichbar.

Buckley et al. (1990) untersuchten unter anderem die Körperzusammensetzung von Simmentalkälbern im Alter von zwei Tagen und drei Monaten mittels chemischer Analyse. Simmentaler sind vergleichbar mit Deutschem Fleckvieh und somit lassen sich die Ergebnisse gut gegenüberstellen. Bei den zwei Tage alten Tieren ermittelten die Autoren 73,4 % Wasser, 2,0 % Fettgewebe, 4,2 % Asche und 20,3 % Protein bei 36,8 kg Schlachtkörpergewicht. Drei Monate alte Kälber erreichten 68,6 % Wasser, 7,0 % Fett, 4,0 % Asche und 20,0 % Protein bei 95,4 kg. Die Werte von Asche sind mit den DXA Werten des Knochenmineralanteils (BMPC) vergleichbar. Hier gleichen

sich die Ergebnisse beider Arbeiten (4,0 – 4,2 % vs. 3,8 %). Wasser- und Proteinanteil addiert ergibt in etwa die Messdaten, welche beim DXA-Verfahren als Magerweichgewebe errechnet werden. Auch hier ist eine Übereinstimmung der Ergebnisse durchaus nachvollziehbar (88,6 – 93,7 % vs. 91,65 %). Die Ergebnisse von Buckley et al. (1990) zeigen die niedrigen Fettgewebeanteile bei zwei Tage alten Simmental-kälbern. Die chemische Analyse ergab bei diesen Tieren einen Fettanteil von 2 %. Dieses Ergebnis untermauert die Annahme, dass Kälber so geringe Fettanteilwerte haben, dass die Software des DXA-Scanners nicht in der Lage ist, diese korrekt zu berechnen.

### 4.3. Körperzusammensetzung von Kreuzungskälbern

Diese Ergebnisse können nur allgemein diskutiert werden, da keine Arbeiten über die Körperzusammensetzung von Kreuzungskälbern der Rassen Deutsche Holsteins und Deutsches Fleckvieh existieren. Bei den Parametern BMD, BMC, BMPC, FettPC und DXWT waren Kreuzungstiere den übrigen Probanden überlegen, wobei der DH-Anteil unterschiedlich hoch war. Erklärbar ist dieses Phänomen durch individuelle Heterosis. Kieler (2002) beschreibt Heterosis als Überlegenheit der Kreuzungsnachkommen gegenüber ihren Reinzuchteltern. Nach der Formel  $\text{Heterosis \%} = \frac{[(\text{Durchschnitt F1-Kreuzung} - \text{Durchschnitt Eltern}) / \text{Durchschnitt Eltern}] \times 100}{1}$  konnte die Heterosis für o. g. Parameter (BMD, BMC, BMPC, FettPC und DXWT) berechnet werden und lag zwischen 3% und 5,89%. Laut Kräußlich und Brem (1997) hat Heterosis aber nur eine mittlere Bedeutung für Wachstumeigenschaften aufgrund der mittleren Heitabilität.

Betrachtet man BMD, so liegen F1-Kreuzungen mit DH-Vater und FV-Mutter signifikant höher als beispielsweise F1-Tiere mit FV-Vater und DH-Mutter wobei aus der statistischen Analyse hervorgeht, dass der Muttergenotyp den größeren Effekt hat (F-Wert: 14,2 Mutter, 5,8 Vater). Beim DXWT verhält es sich hinsichtlich der Elterngenotypen umgekehrt. Hier sind es Kreuzungen mit FV-Vater, die signifikant schwerer sind als jene mit DH-Vater. Dies läßt einen Stellungseffekt oder Positionseffekt im Kreuzungsprogramm vermuten. Zumbach (1998) definiert den Positionseffekt als den Effekt, der sich durch die spezifische Kombination der Einzelmerkmale und das Ausmaß der Interaktionen zwischen reziproken Kreuzungen von Ausgangspopulationen, die sich in ihren maternalen und/oder paternalen Eigenschaften unterscheiden, ergibt.

#### 4.4. Wachstum von Kälbern

Für die Untersuchung des Wachstums der Kälber wurden zwei Zeitspannen analysiert: zwischen 1. und 2. Scan (ca. 4. - 24. Lebenstag) und zwischen 2. und 3. Scan (ca. 25. – 50. Lebenstag). Ein Literaturvergleich gestaltet sich schwierig, da vorhandene Arbeiten sich meist nur mit reinrassigen Kälbern beschäftigen oder andere Altersklassen untersucht wurden. Zudem erfolgte bei anderen Versuchen entweder keine Grundfutteraufnahme (Diaz et al. 2001, Blome et al. 2003) oder es stand den Kälbern ad libitum zur Verfügung (Jensen et al. 2004). Somit kann dieser Teil der vorliegenden Arbeit nicht mit anderen Veröffentlichungen verglichen werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass in der untersuchten Altersklasse der Anteil an aufgenommenem Grundfutter sehr gering ist (tägl. Kraftfutteraufnahme durchschnittlich 85g, Silage 370 g/Tag, Heu 210 g/Tag) und Vollmilch bzw. Milchaustauscher die Hauptnahrungsquellen darstellen. In diesem Versuch konnte ermittelt werden, dass im ersten Untersuchungsabschnitt signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Kälbergenotypen bei der täglichen Kraftfutteraufnahme existieren. Reinrassige Fleckviehkälber nahmen signifikant weniger Kraftfutter auf ( $66,9 \pm 9,2$  g/Tag), als Kälber von Kreuzungsmüttern und FV- oder DH-Vätern ( $87,3 \pm 11,9$  g/Tag). Bei der gezielten Betrachtung des Einflusses der Elterntiere ist ein tendenzieller Einfluss der Mutterrasse, jedoch kein Einfluss der Vaterasse festzustellen. Kälber von Kreuzungsmüttern fressen signifikant mehr Kraftfutter als Kälber von reinrassigen FV-Müttern (Publikation, Abb. 11). Erklärbar wäre diese Beobachtung damit, dass FV-Kälber mehr Grundfutter aufnehmen. Betrachtet man die täglichen Zunahmen der verschiedenen Gewebetypen (BMC, DXA-Gewicht, Fett- und Magerweichgewebe) in diesem Zeitraum, wird ein tendenzieller Einfluss der Mutterrasse und signifikante Einflüsse der Laktationsnummer der Mutter (also dem Alter der Kuh) und des Geburtstypes (Einling oder Mehrling) deutlich. Kälber von reinrassigen DH-Müttern nehmen in den ersten vier Lebenswochen Fettgewebe ab ( $-11,5 \pm 6,3$  g). Im Gegensatz dazu nehmen Kälber von reinrassigen FV-Müttern und von Kreuzungsmüttern tendenziell Fettgewebe zu ( $2,2 \pm 5,6$  g und  $3,6 \pm 8,3$  g). Kälber von Jungkühen (erste Laktation) haben die besten täglichen Zunahmen im Knochenmineralgehalt, nehmen tendenziell aber Fettgewebe ab. Eine tägliche Zunahme von Fettgewebe ist tenden-

ziell bei Kälbern von Kühen der 3. ( $-4,0 \pm 7,6$  g/Tag), 4. ( $-4,9 \pm 11,5$  g/Tag) und 5. Laktationsnummer ( $9,7 \pm 9,0$  g/Tag) zu beobachten, wobei diese insgesamt sehr gering ist. Tiere von Müttern der 5. Laktation nehmen tendenziell das Meiste an Magerweichgewebe ( $411,0 \pm 32,1$  g/Tag) und Gesamtmasse ( $435,4 \pm 33,7$  g/Tag) zu (Publikation, Tab. 5). In diesem Zusammenhang soll die Arbeit von Kume et al. (1993) genannt werden. Sie befasst sich mit dem Effekt der Parität auf kolostrale Mineral-Konzentrationen bei Holstein-Kühen und den Wert von Kolostrum als Mineralstoffquelle für neugeborene Kälber. Die Autoren stellten fest, dass Kolostrum die Hauptquelle für Mineralstoffe für neugeborene Kälber darstellt und dass im Blutplasma von Kälbern aus Jungkühen höhere Ca-Konzentrationen vorliegen als bei Tieren aus älteren Kühen. Die genannten Ergebnisse könnten eine Erklärung für die in dieser Arbeit beobachteten hohen Zunahmen bezüglich des Knochenmineralgehaltes bei Kälbern aus Jungkühen darstellen. Weiter lassen sie die Vermutung zu, dass die unterschiedliche Kolostrumqualität bei unterschiedlich alten Muttertieren im Zusammenhang mit den täglichen Zunahmen der Kälber steht.

Bei Zwillingskälbern können signifikant höhere tägliche Zunahmen von Magerweichgewebe, Knochenmineralgehalt und Körpermasse beobachtet werden (Publikation 3, Tab. 4). Somit fangen sie direkt post partum an, geringere Ausgangswerte zu kompensieren. Echternkamp et al. (2002) beschreiben auch die niedrigeren Geburtsgewichte von Zwillingskälbern, aber sie beobachteten bei den männlichen Zwillingen niedrigere tägliche Zunahmen als bei den einzeln geborenen. Der Unterschied der Zunahmen ist allerdings sehr gering: für Zwillingskälber 1,01 kg/Tag, für Einlinge 1,08 kg/Tag. Auf die täglichen Zunahmen der weiblichen Tiere wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Auch Arrayet et al. (2002) stellen niedrigere Geburtsgewichte bei Zwillingen fest. Berechnet man die tägliche Gewichtszunahme anhand der vorliegenden Körpergewichte am Tag der Geburt und am 30. Lebenstag, so unterscheiden sich bei diesen Autoren die Zunahmen von Zwillingskälbern nicht deutlich von denen der Einlingskälber.

Im zweiten Untersuchungsabschnitt (25. – 29. Lebenstag) wird die tägliche Kraftfutteraufnahme von der Laktationsnummer signifikant beeinflusst (Publikation, Abb. 12). So ist der tägliche Kraftfutterverbrauch bei Kälbern von Tieren der ersten beiden Laktationen hoch, fällt bei den Probanden von Drittlaktierenden ab und steigt dann bei

Kälbern von Viert- und Fünftlaktierenden wieder an. Ein linearer Zusammenhang zu den täglichen Gewebezunahmen kann nicht beobachtet werden. Diese stehen zwar signifikant unter dem Einfluss der Laktationsnummer und Kälber von Jungkühen nehmen am meisten Fettgewebe, Knochenmineralgehalt und Körpermasse zu, aber Kälber von Viert- und Fünftlaktierenden zeigen die geringsten Zunahmen (Publikation, Tab. 7). Die Zunahmen im Bereich Magerweichgewebe und DXA-Gewicht werden von der Vatterasse signifikant beeinflusst. Kälber von FV-Vätern nehmen mehr zu als Tiere mit einem DH-Vater. Interessant ist dabei die Beobachtung, dass sich im ersten Untersuchungsabschnitt dieses genau umgekehrt verhält: Kälber von DH-Vätern nehmen mehr zu als die von FV-Vätern (Publikation, Tab. 6 und 8). Zu bemerken ist, dass Kälber von DH-Vätern relativ konstante tägliche Zunahmen aufweisen, während Kälber von FV-Vätern die täglichen Zunahmen zwischen den beiden Messabschnitten um nahezu 100g/Tag steigern. Mögliche Gründe können eine höhere Grundfutteraufnahme der Kälber von FV-Vätern in dieser Zeitspanne oder die im Vergleich zu den Probanden mit DH-Vater rassebedingte größere Wachstumskapazität dieser Tiere sein. Die Wahl der Mutterasse hat im zweiten Untersuchungszeitraum keinen Einfluß auf die täglichen Zunahmen.

#### 4.5. Anwendung verschiedener Scan-Modi

Der Unterschied der verwendeten Scan Modi „normal“ und „Pediatrie groß“ liegt in der Pixelgröße, 4,8 x 9,6 mm zu 3,6 x 7,2 mm, und dem Intervall der Meßpunkte, 1/16 zu 1/32. Damit sind theoretisch Auswirkungen auf die Messergebnisse möglich. Um dieses zu überprüfen, wurden einige Tiere (n=20) mit beiden Scan Modi untersucht. Die Korrelation der beiden Scan Modi war für Knochenmineraldichte, Knochenmineralgehalt, Knochenmineralanteil, Mager- und Fettgewebsmasse und DXA-Gewicht sehr hoch ( $r = 0,90 - 0,99$ ). Nicht so hoch ist die Korrelation bei den Parametern Mager- und Fettgewebeanteil sowie R-Wert ( $r = 0,62 - 0,70$ ), was den Schluß zulässt, dass der Scan-Modus die gemessene Röntgenschwächung beeinflusst. Andere Autoren verglichen ebenfalls in ihren Forschungsarbeiten die Ergebnisse unterschiedlicher Scan-Modi. Mitchell et al. (1997) stellten bei der Untersuchung von Hühnern die Software-Programme Ganzkörperpediatrie (mit neonatal Scan-Modus) und Ganzkörper-Kleintier (mit Detail- oder Hochauflösungs-Scan-Modus) und korrelierten die Messwerte mit denen aus der chemischen Analyse der untersuchten Tiere. Das Ergebnis des Vergleichs war, dass keines der beiden Programme unter Verwendung eines DPX-L-Scanners eine ausreichende Genauigkeit für die Messung der Fettgewebsmasse bei Hühnern unter 2 kg Körpergewicht bietet. Auch Swennen et al. (1998) scannten Hühner mit diesem Gerät (DPX-L) und stellten die Scan-Modi „Hochauflösung“ und „Detail langsam“ gegenüber. Das Resultat ergab, dass alle DXA-Parameter außer dem Gewicht signifikant von der Wahl des Scan-Modus beeinflusst wurden. Im Vergleich zu dem „Detail langsam-Modus“ ermittelte der Hochauflösungs-Modus signifikant höhere Werte für Fettgewebsmasse und Knochenmineralgehalt und niedrigere für Magergewebsmasse und Knochenmineraldichte. Picaud et al. (1999) verwendeten bei einem Gerät der Firma Hologic die Scan-Modi „Pediatric Whole Body“ und „Infant Whole Body“ zur Untersuchung von neugeborenen Ferkeln und evaluierten die Messergebnisse mittels chemischer Analyse. Der „Infant Whole Body Modus“ lieferte genauere und stabilere Ergebnisse für Knochenmineralgehalt und Fett. Die Autoren schlossen daraus, dass sich dieser Scan-Modus besser zur Analyse des Knochenmineralgehaltes und der Körperzusammensetzung eignete. In der Arbeit von Mitchell et al. (1998a) erfolgten DXA-Messungen bei



Schweinen mit unterschiedlichen Scan-Modi, wobei je nach Gewicht der Probanden „pediatric mode“ (Schweine  $< 30$  kg) oder „adult mode“ (Schweine  $\geq 30$  kg) zum Einsatz kam. Die Ergebnisse wurden mit denen der chemischen Analyse, aber nicht zwischen den beiden Scan-Modi korreliert. Aus dem oben genannten Abschnitt geht hervor, dass es in der Literatur zwar Scan-Modus-Vergleiche zu finden sind, diese aber mit anderen Modi durchgeführt wurden als in der vorliegenden Studie. Da bei den genannten Arbeiten zum Teil auch DXA-Scanner von anderen Firmen (Hologic) zum Einsatz kamen, sind keine dieser Ergebnisse direkt mit den selbst ermittelten vergleichbar. Um die Vergleichbarkeit von DXA-Messungen zu sichern, müssen demnach immer dasselbe Gerät und der selbe Scan-Modus verwendet werden. Eine „Kreuzkalibrierung“ der Geräte könnte eine gewisse Vergleichbarkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Geräte gewährleisten.

## 5. Zusammenfassung

### Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Körperzusammensetzung und das Wachstum von 214 Kälbern (6 – 50 Tage alt) unterschiedlicher genetischer Herkunft in vivo mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). Die Kälber entstammten aus reinen Paarungen der Rassen Deutsche Holstein und Deutsches Fleckvieh und aus Kreuzungen zwischen diesen Rassen. Bezüglich der Körperzusammensetzung sind Unterschiede zwischen den Genotypen der Kälber bzw. der Elterntiere festgestellt worden. So waren reinrassige Deutsche Holstein Kälber hinsichtlich Knochenmineraldichte, Knochenmineralgehalt, Knochenmineralanteil, Fettgewebsanteil und Masse den anderen Genotypen unterlegen. Umgekehrte Verhältnisse lagen beim Magergewebsanteil vor. Im Rahmen der Wachstumsuntersuchung wurde neben den Gewebezunahmen (Magergewebe, Fett, Knochenmineral) auch der Futterverbrauch untersucht. Des Weiteren wurden hier Effekte des Geburtstyps und der Laktationsnummer der Muttertiere deutlich. So wiesen Zwillingskälber signifikant höhere tägliche Gewichtszunahmen auf als Kälber aus Einlingsgeburten. Kälber von Färsen zeigten die höchsten täglichen Zunahmen zwischen 2. und 3. Scan, wohingegen Kälber von Viert- bzw. Fünftlaktierenden am wenigsten zunahmen.

Eine Analyse verschiedener Scan Modi "normal" und "Pediatry groß" ergab eine sehr gute Korrelation der Messwerte ( $r \geq 0,90$ ) mit Ausnahme von Mager- ( $r = 0,62$ ), Fettgewebeanteil ( $r = 0,70$ ) und R-Wert ( $r = 0,69$ ). Zusammenfassend ist das DXA-Verfahren als eine geeignete Möglichkeit zur Ermittlung der Körperzusammensetzung und des Wachstums bei Kälbern zu beurteilen.

## 6. Summary

### **In vivo analysis of body composition and growth of calves of different genetic origin using dualenergy x-ray absorptiometry (DXA)**

In vivo body composition and growth of 214 calves (6-50 days old) of different genetic origin were analyzed using dual-energy x-ray absorptiometry (DXA). The calves originated from pure mating of German Holstein and German Fleckvieh breeds and from cross mating of these breeding lines.

A whole body scan was performed. Looking at body composition there were differences among calves' genotypes and parents genotypes. Purebred German-Holstein calves showed lower bone mineral density, bone mineral content, bone mineral percentage, fat tissue percentage and weight than the other genotypes. Opposite conditions existed for lean tissue percentage. Daily feed intake and tissue growth rates (lean tissue, fat tissue, bone mineral) were recorded from day 0 to day 50 of age. Further effects of birth type and lactation number of dam became obvious. Twins showed a significant higher daily gain than calves of single births. Heifer calves had highest daily gain between Scan 2 and Scan 3 in contrary to calves of cows of fourth or fifth lactation number.

Within the study two scan modes were compared. A comparison between two scan modes "normal" and "pediatric large" showed a high correlation of selected values ( $r \geq 0,90$ ) except for lean tissue percentage ( $r = 0,62$ ), fat tissue percentage ( $r = 0,70$ ) and R-value ( $r = 0,69$ ).

In conclusion DXA is a very suitable method for examination of body composition and growth of calves.

## 7. Literaturverzeichnis

Arrayet, J.L.; Oberbauer, A.M.; Famula, T.R.; Garnett, I.; Oltjen, J.W.; Imhoof, J.; Kehrl, M.E. jr.; Graham, T.W.:

Growth of Holstein calves from birth to 90 days: The influence of dietary zinc and BLAD status. J Anim Sci., 80 (2002), 545-552

Bascom, S.S.; Huffard, C.S.; Nickols- Richardson, S.M.; Hovingh, E.P.; James, R.E.; McGillard, M.L.:

Analysis of body composition of Jersey bull calves fed varying levels of fat and protein with dual energy X-ray absorptiometry. J Anim Sci., 80 (2002), 336

Bertin, E. ; Ruiz, J.C. ; Mourot, J. ; Peiniau, P. ; Portha, B. :

Evaluation of dual-energy X-Ray absorptiometry for bodycomposition assessment in rats. J Nutr., 128 (1998), 1550-1554

Blome, R.M.; Drackley, J.K.; McKeith, F.K.; Hutjens, M.F.; McCoy, G.C.:

Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. J Anim Sci., 81 (2003), 1641-1655

Brown, E.G.; VandeHaar, M.J.; Daniels, K.M.; Liesman, J.S.; Chapin, L.T.; Keisler, D.H.; Weber Nielsen, M.S.:

Effect of Increasing energy and Protein Intake on Body Growth and Carcass Composition of Heifer Calves. J Dairy Sci., 88 (2005), 585-594

Buckley, B.A.; Baker, J.F.; Dickerson, G.E.; Jenkins, T.G.:

Body composition and tissue distribution from birth to 14 months for three biological types of beef heifers. J Anim Sci., 68 (1990), 3109-3123

Buyse, J.; Swennen, Q.; Janssens, G. P. J.; Decuypere, E.; Geers, R.:

Evaluation of dual-energy X-ray absorptiometry to determine the in vivo body composition of broilers. Progress in research on energy and protein metabolism, EAAP publication 109 (2003), 477-480

Clarke, R.D.; Kirton, A.H.; Bartle, C.M.; Dobbie, P.M.:

Application of dual-energy x-ray absorptiometry for ovine carcass evaluation. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 59 (1999), 272-274

Deng, H.W.; Lai, D.B.; Conway, T.; Li, J.; Xu, F.H.; Davies, K.M.; Recker, R.R.:

Characterization of genetic and lifestyle factors for determining variation in body mass index, fat mass, percentage of fat mass, and lean mass. J Clin Densitom., 4 (2001), 353-361

Deurenberg, P.; Schutz, Y.:

Body Composition: Overview of Methods and Future Directions of Research. Ann Nutr Metab., 39 (1995), 325-333

Diaz, M.C.; Van Amburgh, M.E.; Smith, J.M.; Kelsey, J.M.; Hutten, E.L.:

Composition of Growth of Holstein Calves Fed Milk Replacer from Birth to 105-Kilogramm Body Weight. J Dairy Sci., 84 (2001), 830-842

Echtenkamp, S.E.; Gregory, K.E.:

Reproductive, growth, feedlot, and carcass traits of twin vs single births in cattle. J Anim Sci., 80 (2002), E64-E73

Ellis, K.:

Human Body Composition: In Vivo Methods. Physiol Rev., 80 (2000), 649-680

Ellis, K.:

Selected Body Composition Methods Can Be Use in Field Studies. J of Nutr., 131 (2001) 1589S-1595S

Fink, C.; Cooper, H.J.; Huebner, J.L.; Guilak, F.; Kraus, V.B.:

Precision and accuracy of a transportable dual-energy X-ray absorptiometry unit for bone mineral measurements in guinea pigs. Calcif Tissue Int., 70 (2002), 164-169

Gala Paniagua, J.; Diaz-Curiel, M.; de la Piedra Gordo, C.; Castilla Re, C.; Torralbo Garcia, M.:

Bone mass assessment in rats by dual-energy X-ray absorptiometry. Br J Radiol., 71 (1998), 754-758

Grier, S.J.; Turner, A.S.; Alvis, M.R.:

The Use of Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Animals. *Invest Rad.*, 31 (1996), 50-62

Hammami, M.; Koo, M.W.; Koo, W.W.; Thomas, R.T.; Rakhman, D.:

Regional bone mass measurement from whole-body dual-energy X-ray absorptiometry scan. *J Clin Densitom.*, 4 (2001), 131-136

Heymsfield, S.B.; Wang, Z.M.; Baumgartner, R.N.; Ross, R.:

Human Body Composition: Advances in Models and Methods. *Ann Rev Nutr.*, 17 (1997), 527-558

Houghton, P.L.; Turlington, L.M.:

Application of Ultrasound for Feeding and Finishing Animals: A Review. *J Anim Sci.*, 70 (1992), 930-941

Jensen, M.B.:

Computer-Controlled Milk Feeding of Dairy Calves: Effects of Number of Calves per Feeder and Number of Milk Portions on Use of Feeder and Social Behaviour. *J Dairy Sci.*, 87 (2004), 3428-3438

Kieler, K.C.:

The Effects of Crossbreeding on Dairy Cattle Reproduction. Thesis of The Graduate Faculty, University of Wisconsin-Platteville, (2003)

Koo, W.W.; Walters, J.C.; Hockman, E.M.:

Body Composition in Human Infants at Birth and Postnatally. *J. Nutr.*, 130 (2000), 2188-2194

Koo, W.W.; Hockman, E.M.; Hammami, M.:

Dual energy X-ray absorptiometry measurements in small subjects: conditions affecting clinical measurements. *J Am Coll Nutr.*, 23 (2004), 212-219

Kräußlich, H.; Brem, G.:

Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre für Tiermediziner. (1997), Enke Verlag, ISBN 3-432-26621-9

Kume, S.; Tanabe, S.;

Effect of Parity on Colostral Mineral Concentrations of Holstein Cows and Value of Colostrum as a Mineral Source for Newborn Calves. J Dairy Sci., 76 (1993), 1654-1660

Lissner, J.; Fink, U.:

Radiologie I, 4. neu bearbeitete Auflage, (1992), Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, ISBN 3-432-88354-4

Lukaski, H.C.:

Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. Am J Clin Nutr., 46 (1987), 537-556

Mitchell, A.D.; Conway, J.M.; Potts, W.J.E.:

Body Composition Analysis of Pigs by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. J Anim Sci., 74 (1996), 2663-2671

Mitchell, A.D.; Rosebrough, R.W.; Conway, J.M.:

Body composition analysis of chickens by dual energy x-ray absorptiometry. Poult Sci., 76 (1997), 1746-1752

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.:

Dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) analysis of growth and body composition of pigs of different ryanodine receptor genotypes. Arch. Tierz., 40 (1997), 11-21

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.; Conway, J.M.:

Body composition analysis of small pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. J Anim Sci., 76 (1998), 2392-2398

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M., Conway, J.M.:

Body Composition Analysis of Pigs from 5 to 97kg by Dual Energy X-ray Absorptiometry. Appl Radiat Isot., 49 (1998a), 521-523

Mitchell, A.D.; Scholz, A.M.; Pursel, V.G.:

Total body and regional measurements of bone mineral content and bone mineral density in pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. J Anim Sci., 79 (2001), 2594-2604

Mitchell, A.D. ; Scholz, A.M. ; Wang, P.C. ; Song, H. :

Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. *J Anim Sci.*, 79 (2001a), 1800-1813

Mitchell, A.D. ; Scholz, A.M. :

Techniques for measuring body composition of swine (Chapter 41). *Swine Nutrition*, 2<sup>nd</sup> Edition, edited by A.J. Lewis and L. Lee Southern, CRC Press, (2001b), 917-960

Mitchell, A.D. ; Scholz, A.M. ; Pursel, V. :

Prediction of the in vivo Body composition of pigs based on crosssectional region analysis of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans. *Arch. Tierz.*, 45 (2002), 535-545

Murry, A.C. ; Gelaye, S. ; Casey, J.M. ; Foutz, T.L. ; Kouakou, B. ; Arora, D. :

Type of milk consumed can influence plasma concentrations of fatty acids and minerals and body composition in infant and weanling pigs. *J Nutr.*, 129 (1999), 132-138

Nagy, T. R.:

The Use of dual-energy X-ray absorptiometry for the measurement of body composition (Chapter 8). *Body Composition Analysis of Animals – A Handbook of Non-Destructive Methods*, edited by J. R. Speakman, Cambridge University Press, (2001), 211–229, ISBN 0521663385

Nüske, S. ; Scholz, A.M. ; Förster, M. :

Studies on the Growth of the Claws in New Born Calves using Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA). *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Lameness in Ruminants*, Orlando, USA, (2002), 199-201

Nüske, S. ; Scholz, A.M. ; Förster, M. :

Examinations of the Digit of Slaughtered Bulls in Comparison to their Development in the first three Month Using Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium and 5<sup>th</sup> Conference on Lameness in Ruminants*, Maribor, Slovenija, (2004), 96

Picaud, J.C.; Nyamugabo, K.; Braillon, P.; Lapillonne, A.; Claris, O.; Delmas, P.; Meunier, P.; Salle, B.; Rigo, J.:

Dual-energy X-ray absorptiometry in small subjects: influence of dual-energy X-ray equipment on assessment of mineralization and body composition in newborn piglets. *Pediatr Res.*, 46 (1999), 772-777



Pietrobelli, A.; Formica, C.; Wang, Z.; Heymsfield, S.B.:

Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts., American Physiological Society, (1996), E941-E951

Pietrobelli, A.; Wang, Z.; Formica, C.; Heymsfield, S.B.:

Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. American Physiological Society, (1998), E808-E816

Pouilles, J.M.; Collard, P.; Tremollieres, F.; Frayssinet, P.; Railhac, J.J.; Cahuzac, J.P.; Autefage, A.; Ribot, C.:

Accuracy and precision of in vivo bone mineral measurement in sheep using dual-energy X-ray absorptiometry., *Calcif Tissue Int.*, 66 (2000), 70-73

Sabo, D.; Reiter, A.; Pfeil, J.; Güßbacher, Niethard, F.U.:

Beeinflussung der Knochenqualität durch extreme körperliche Belastung. Knochendichtemessung bei Hochleistungssportlern mit der Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie., *Z Orthop.*, 134 (1996), 1-6

SAS/STAT®

User's Guide Volume 2, GLM-Varcomp, Version 8.2 TS Level 02M0, by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

Scholz, A.M.:

In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. Habilitationsschrift der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, (2002), <http://epub.ub.uni-muechen.de/>

Scholz, A.M.; Soffner, P.; Littmann, E.; Peschke, W.:

Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30-39 kg) anhand der EU-Referenzzurlegung., *Züchtungskunde*, 74 (2002), 376-391

Soffner, P.:

Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und Knochenmineraldichte am wachsenden Schwein mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie., *Diss. med. vet. München*, (2003)

Speakman, J.R.; Booles, D.; Butterwick, R.:

Validation of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. *Int J Obes Relat Metab Disord.*, 25 (2001), 439-447

Swennen, Q.; Janssens, G.P.; Geers, R.; Decuypere, E.; Buyse, J.:

Validation of dual-energy x-ray absorptiometry for determining in vivo body composition of chickens. *Poult Sci.*, 83 (2004), 1348-1357

Tamada, A.; Emura, S.; Hayakawa, D.; Chen, H.; Jamali, M.; Yamahira Yoshida-Terasawa, K.; Isono, H.; Shoumura, S.:

Effect of immobilization on the ultrastructure of the golden hamster parathyroid gland. *Okajimas Folia Anat JPN.*, 74 (1998), 259-269

Turner, A.S.; Mallinckrodt, C.H.; Alvis, M.R.; Bryant, H.U.:

Dual-energy X-ray absorptiometry in sheep: experiences with in vivo and ex vivo studies. *Bone*, 17 (1995), 381-387

Velazco, J.; Morrill, J.L.; Grunewald, K.K.:

Utilization of Bioelectrical Impedance to Predict Carcass Composition of Holstein Steers at 3, 6, 9, and 12 Months of Age. *J Anim Sci.*, 77 (1999), 131-136

Zumbach, B.:

Schätzungen von Kreuzungsparametern unter besonderer Berücksichtigung von epistatischen Effekten und einer Optimierung des Kreuzungszuchtverfahrens beim Meerschweinchen in Bolivien. *Diss. rer. Agr. Berlin*, (1998)

# Lebenslauf

Frauenchiemseestrasse 31 ▪ 81669 München  
Telefon: 089/6891728 ▪ e-mail: julia.hampe@t-online.de

## Julia Barbara Hampe

### Persönliche Information

---

- Familienstand: ledig, keine Kinder
- Staatsangehörigkeit: deutsch
- Konfession: evangelisch
- Geburtsdatum: 03.06.1978
- Geburtsort: München
- Eltern: Dr. med. Ernst Richard Hampe, Frauenarzt  
Lydia Johanna Maria Hampe (geb. Dürner), Hebamme  
Geschwister: ein Bruder: Daniel Johannes Hampe

### Ausbildung

---

Sept. 1984 – Juli 1988	Grundschule an der Fürichstrasse in München
Sept. 1988 – Juni 1997	Michaeli-Gymnasium in München
Juni 1997	Abitur
Nov. 1997 – Feb. 2003	Studium der Tiermedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München
März 2003	Approbation als Tierärztin

## Tätigkeiten nach dem Studium

---

Seit April 2003

Promotionsstudium , Thema der Dissertation:  
„Untersuchung der Körperzusammensetzung  
und des Wachstums von neugeborenen Käl-  
bern unterschiedlicher genetischer Herkunft  
mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie“

wissenschaftliche Assistenz im Lehr- und  
Versuchsgut Oberschleißheim der Tierärztli-  
chen Fakultät der Ludwig-Maximilians-  
Universität München

## Danksagung

Herrn Priv. Doz. Dr. Dr. habil. Armin Scholz möchte ich sehr herzlich für die Überlassung dieses interessanten Themas und für seine überaus tatkräftige Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit danken. In der ganzen Zeit war er mir eine sehr große Hilfe in allen Bereichen der Erstellung der Dissertation.

Bei Herrn Dr. Stefan Nüske möchte ich mich für seine Mithilfe bei der Durchführung des praktischen Teils und für seine Unterstützung im tierärztlichen Bereich bedanken. Er stand mir immer mit Rat und Tat zur Seite.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Thomas Böser (Versuchstechniker Rind) und seinen Mitarbeitern Herrn Dierig, Herrn Jakob und Herrn Wiedmann, die mir bei der teilweise anstrengenden Durchführung des praktischen Teils jederzeit geholfen haben und denen damit ein nicht unerheblicher Anteil am Entstehen dieser Arbeit zukommt.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Richard Bätz, der nicht müde wurde, mir immer wieder seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse zukommen zu lassen und der mir stets bei EDV-Problemen zuverlässig aus der Patsche geholfen hat.

Großer Dank gebührt auch Frau Christa Gurgui, die mittags für das leibliches Wohl gesorgt und so zu der nötigen Kraft beigetragen hat, die man zur Erstellung einer solchen Arbeit unbedingt braucht.

Dankbar bin ich allen Mitarbeitern am Lehr- und Versuchsgut für die Schaffung des überaus freundlichen Arbeitsklimas am Betrieb.

Vielen Dank auch an meinen Bruder, der mit seinem Computerwissen mich in dieser Hinsicht immer wieder vor Krisen bewahrte und der mich auch jederzeit moralisch unterstützt hat.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir seit Beginn des Studiums jede erdenkliche Unterstützung zuteil werden ließen und immer an mein berufliches Weiterkommen geglaubt haben.

Bei meinem Vater möchte ich mich außerdem noch für sein Engagement bei der Durchsicht des Manuskriptes sehr herzlich bedanken. Seine Kritik war stets äußerst wertvoll für mich.

Meiner Mutter gebührt besonderer Dank für ihren andauernden seelischen Beistand, auch in Zeiten, in denen es eher mäßig voranging. Sie hat meine Launen immer zu ertragen gewußt und mich stets aufs Neue motivieren können.